

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Návrh a nastavení elektrických ochran pro rozvodnu 110/22 kV Kojetín

Proposal and setting of electric protections of distributing substation
Kojetín 110/22 kV

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Tomáš Serafin

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Návrh a nastavení elektrických ochran pro rozvodnu 110/22 kV Kojetín
Proposal and Setting of Electric Protections of Distributing Substation
Kojetin 110/22 kV

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochran a jistění
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis rozvodny 110/22 kV Kojetín
4. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny
5. Návrh nastavení elektrických ochran pro rozvodnu
6. Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitální ochrany v elektrizační soustavě. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny 110/22 kV Kojetín.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

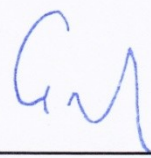
Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29. dubna 2016

.....
Tomáš Serafin

Děkuji doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za vedení mé diplomové práce. Zvláště pak děkuji svému konzultantovi Ing. Milanu Blokšovi za cenné odborné rady, věcné připomínky a velmi vstřícný přístup při zpracovávání mé diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá elektrickými ochranami v rozvodu vysokého napětí. V rámci teoretické části práce je nejdříve rozebrán obecný popis ochran. Jsou zde vyjmenované nejčastější poruchy, které se mohou v provozu elektrizační soustavy objevit a podle kterých se vybírají typy a vlastnosti nasazených ochran. Na obecném popisu ochran staví druhá kapitola, jejímž cílem je vysvětlit principiální funkci různých typů ochran užívaných v rozvodnách na hladině vysokého napětí. Cílem poslední teoretické kapitoly je rozebrat výpočet zkratových proudů, jenž je nutný pro nastavení ochran v praktické části práce. Ta začíná čtvrtou kapitolou, kde je popsán stávající stav rozvodny Kojetín a její dosavadní přístrojové vybavení. Následuje výčet nedostatků stávajícího ochranného systému rozvodny a návrh nového, který je odstraní. Hlavním účelem práce je správné nastavení nových ochran, přičemž právě pro tento úkol je zapotřebí vypočítat zkratové poměry na výstupních vedeních z rozvodny. Výslednou hodnotou práce je přehledná tabulka seskupující parametry pro nastavení ochran, při kterých budou výstupní vedení z rozvodny a její vybavení spolehlivě chráněny. V závěru přináším vlastní návrh, jak by šel ochranný systém rozvodny ještě vylepšit.

Klíčová slova

Elektrická ochrana, ochrany v rozvodu VN, multifunkční ochrany Siemens, zařízení rozvodny 110/22 kV, výpočet zkratových proudů, nastavení nadproudových ochran

Abstract

This thesis is focused on electric protections in distribution of medium voltage power. There is a general description of protections in theoretical part of thesis at first. There is a description of choice of new protections and its properties according to the most frequent faults. The aim of the second chapter is an explanation of principal functions of various kinds of protections. The last theoretical chapter deals with short-circuit current calculation. This is necessary for setting of new protections. The practical part begins in fourth chapter. There is a description of the present state of distributing substation Kojetín and its devices. The chapter continues with enumeration of imperfections in actual protection system. The important part is a proposal of new protection system which eliminates old imperfections. The main aim is correct setting of new protection. For this purpose it is necessary to calculate the short-circuit currents at output of the distributing substation. The main contribution of thesis is the table with setting values for new protections. It's very important for substation to be protected well. In conclusion of the thesis I bring my own idea how the protection system of distributing substation Kojetín could be improved in the future.

Key Words

Electric protection, protections in distribution of MV, multifunctional protections Siemens, devices of distributing substation 110/22 kV, short-circuit current calculation, setting of overcurrent protection

Seznam zkratek

A/D	Analogově digitální
AOZ	Automatika opětného zapínání
DTS	Distribuční trafostanice
ES	Elektrizační soustava
LOR	Logická ochrana rozvodny
NN	Nízké napětí
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PSP	Podélná spojka přípojníc
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

Obsah

Úvod	1
1. Úvod do problematiky poruch a ochran v rozvodu	2
1. 1. Základní poruchové stavy v ES	2
1. 2. Další poruchové stavy v ES	3
1. 3. Požadavky kladené na elektrické ochrany	3
1. 4. Obecný popis elektrické ochrany	5
1. 5. Rozdělení ochran	7
2. Teoretický rozbor vybraných ochran v rozvodu VN	8
2. 1. Nadproudové ochrany	8
2. 1. 1. Nezávislé nadproudové ochrany	9
2. 1. 2. Závislé nadproudové ochrany	13
2. 1. 3. Směrové nadproudové ochrany	14
2. 2. Ochrany při zemních spojení	15
2. 2. 1. Sít' se zemním spojením	15
2. 2. 2. Zemní směrové ochrany a jejich nastavení	16
2. 3. Automatika opětovného zapínání	17
2. 4. Ochrany transformátorů	18
2. 4. 1. Rozdílové ochrany	18
2. 4. 2. Buchholzovo relé	20
2. 4. 3. Nádobové ochrany	21
2. 5. Zábleskové ochrany	22
2. 6. Logické systémy	22
3. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů	23
3. 1. Zjednodušující předpoklady při výpočtu zkratových proudů	24
3. 2. Předpoklady při výpočtu minimálního zkratového proudu	24
3. 3. Předpoklady při výpočtu maximálního zkratového proudu	25
3. 4. Postup výpočtu	25
3. 5. Výpočet impedance prvků soustavy	26
3. 5. 1. Sít'ové napáječe (nadřazená sít')	26
3. 5. 2. Alternátory	26
3. 5. 3. Dvouvinut'ové transformátory	27
3. 5. 4. Trojvinut'ové transformátory	27
3. 5. 5. Asynchronní motory	28
3. 5. 6. Reaktory	28
3. 5. 7. Venkovní a kabelová vedení	28

3. 6.	Výpočet zkratových proudů	29
3. 6. 1.	Počáteční souměrný rázový zkratový proud.....	29
3. 6. 2.	Nárazový zkratový proud	29
3. 6. 3.	Ekvivalentní oteplovací proud.....	29
4.	Popis rozvodny 110/22 kV Kojetín	30
4. 1.	Rozvodná část 110 kV.....	30
4. 2.	Transformace 110/22 kV	31
4. 3.	Rozvodná část 22 kV	32
4. 3. 1.	Přístrojové vybavení jednotlivých polí.....	33
4. 4.	Ochrany rozvodny	33
4. 4. 1.	Stav ochrany před modernizací rozvodny	34
4. 4. 2.	Modernizace ochrany v rozvodně.....	34
5.	Popis nových ochrany navržených pro rozvodnu Kojetín.....	35
5. 1.	Rozdílová ochrana Siprotec 7UT612	35
5. 2.	Multifunkční ochrana Siprotec 7SJ62/63/64	36
5. 3.	Nadproudová ochrana Siprotec 7SJ80.....	37
5. 4.	Vysokonapěťová ovládací jednotka pole 6MD66x	37
6.	Výpočet zkratových poměrů na vývodech z rozvodny	38
6. 1.	Předpoklady pro výpočet.....	38
6. 1. 1.	Vliv napájecí soustavy 110 kV	38
6. 1. 2.	Vliv malých lokálních zdrojů	39
6. 1. 3.	Záložní napájení z rozvodny Dluhonice	39
6. 2.	Vzorový výpočet vedení VN106	39
6. 2. 1.	Zkratové poměry na začátku vedení v US_PR_5083	42
6. 2. 2.	Zkratové poměry v místě odbočky v US_PR_5025	44
6. 2. 3.	Zkratové poměry na konci odbočkového vedení v PR_4773	46
6. 2. 4.	Zkratové poměry na konci hlavního vedení v PV_9197	47
6. 2. 5.	Výpočet zkratových poměrů při záložním napájení	48
6. 3.	Výsledné hodnoty zkratových poměrů na jednotlivých vedeních.....	50
7.	Nastavení ochrany v rozvodně	58
7. 1.	Nastavení nadproudových ochrany na vývodech	58
7. 1. 1.	Stupeň nadproudový proti přetížení.....	58
7. 1. 2.	Stupeň zkratový	60
7. 1. 3.	Nastavení ochrany linky VN12	60
7. 2.	Nastavení nadproudových ochrany transformátoru a podélné spojky přípojníc	61
7. 3.	Tabulka výsledných hodnot pro nastavení nadproudových ochrany.....	62
7. 4.	Ostatní nastavení a logika ochrany v rozvodně.....	62

Závěr.....	63
Použitá literatura.....	64
Seznam obrázků.....	65
Seznam tabulek.....	66
Seznam příloh.....	67

Úvod

Není žádnou překvapující informací, že dnešní společnost je zcela závislá na elektrické energii. A přestože se snažíme s ní šetřit, např. zaváděním úspornějších elektrických spotřebičů, její spotřeba neustále roste. Na tuhle skutečnost musí reagovat i česká energetika, jejímž účelem je zajistit dostatek elektrické energie pro pokrytí rostoucí poptávky ve všech odvětvích, ať už se jedná například o výrobní továrny, dopravu, běžné domácnosti nebo při zajišťování veřejných, zdravotnických a bezpečnostních služeb. Energetické společnosti v České republice musí počítat s tím, že spotřeba elektrické energie bude dále narůstat a musí být schopny zajistit nejen její dostatečnou výrobu, ale také přenos a distribuci ke všem spotřebitelům. V České republice jsou přenosové a distribuční elektrické sítě na vysoké úrovni kvality, což je dáno především dobrou prací jejich provozovatelů, kteří jednak důsledně dbají na údržbu stávajícího elektrického zařízení a zároveň se snaží predikovat budoucí situaci a podle toho plánují modernizaci a rozvoj současného zařízení. Klíčem k úspěšnému provozování celé soustavy je věnování pozornosti nejen hlavní páteční přenosové soustavě, ale také menším rozvodným soustavám, které zajišťují dodávku elektrické energie ke koncovým odběratelům. Pokud tyto dílčí soustavy budou spolehlivě pracovat, tak je to dobrý základ pro úspěšné provozování celé elektrizační soustavy v České republice.

Spolehlivý provoz však není synonymem bezporuchového provozu. Vznik poruch na elektrických zařízeních lze sice jejich pravidelnou a kvalitní údržbou minimalizovat, nikoli však eliminovat úplně. Jestliže tedy není možné se poruchám zcela vyhnout, tak pro zajištění vysoké spolehlivosti provozu je důležitá otázka, jak rychle a přesně je možné případnou poruchu odhalit a zamezit jejímu šíření, čímž se snižuje míra případných škod. Tím se v návaznosti zvyšuje pravděpodobnost rychlejšího odstranění poruchy a dřívějšího návratu zařízení do opětovného provozu. Nezbytným nástrojem jsou tedy elektrická zařízení, která umožňují rychlou a přesnou detekci poruch. Tato zařízení se nazývají elektrické ochrany a existuje jich celá škála různých typů, parametrů a provedení. Ochrany jsou hojnými a velmi důležitými prvky v rozvodu elektrické energie, které umožňují udržet jeho provozní spolehlivost na vysoké úrovni.

Předmětem zájmu této diplomové práce jsou právě elektrické ochrany, zejména pak ty, se kterými je možno se setkat rozvodu vysokého napětí. Práce se zaměřuje na konkrétní rozvodnu 110/22 kV v Kojetíně na Přerovsku, protože ta v blízké době prodělá po stránce ochrany značnou modernizaci. Snahou práce je vysvětlení principů funkce ochrany, které se v rozvodně Kojetín nachází, a popisu nových typů, které budou následně v rozvodně v rámci modernizace instalovány. Konečným cílem je navrhnout správné nastavení nových ochrany, přičemž se vychází z parametrů sítě, jež rozvodna Kojetín napájí. K dosažení výsledku je zapotřebí zejména znalost výpočtů zkratových proudů, a proto je součástí práce také souhrnný rozbor na toto téma.

1. Úvod do problematiky poruch a ochran v rozvodu

Při provozu elektrického silnoproudého rozvodu se mohou mimo nominální provozní stavy vyskytnout také stavy takové, jež narušují bezpečnost provozu. Takové stavy jsou nežádoucí a nazýváme je poruchami. Při poruchách může dojít k elektrickému, tepelnému a mechanickému ohrožení izolace vodičů či jiných elektrických zařízení a v nejhorším případě může dojít k ohrožení bezpečnosti osob, které tato zařízení obsluhují. Úkolem elektrických ochran není poruchám předcházet, ale musí dle svého principu poruchu rozpoznat a zasáhnout tak, aby nedošlo k rozsáhlému poškození elektrického zařízení nebo k ohrožení bezpečnosti osob.

1.1. Základní poruchové stavy v ES

Každá porucha v elektrizační soustavě znamená problém, který je nutno řešit buďto okamžitě nebo je možné i určité časové prodloužení. Poruchám se snažíme předcházet vhodnou preventivní údržbou, nicméně některé situace, zejména přírodního charakteru, předvídat nelze a k poruchám navzdory všem protipatřením dochází. Každá porucha má svou příčinu vzniku, své projevy a často jedna porucha může přejít v poruchu druhou a závažnější např. přepětí či zemní spojení ve zkrat. Základní poruchové stavy, které se mohou na elektrickém vedení vyskytnout, jsou následující:

Přepětí – hodnota napětí, která je vyšší než jmenovitá provozní hodnota napětí elektrického zařízení. Jeho nebezpečnost tkví především ve zvýšeném potenciálu k proražení izolace či přeskočení mezi živými částmi elektrického zařízení. Přepětí může mít atmosférickou příčinu vzniku, tzn. buďto přímým úderem blesku do vedení či nekrytých částí elektrických zařízení nebo v důsledku indukce při úderu blesku do jiných blízkých částí elektrického rozvodného zařízení. Přepětí může být také způsobeno spínacími pochody v obvodech, které se vyznačují velkou indukčností nebo kapacitou.

Podpětí – hodnota napětí, která je nižší než jmenovitá provozní hodnota napětí elektrického zařízení. Na velikost napětí jsou citlivé zejména motory, poněvadž jejich moment je úměrný druhé mocnině napájecího napětí. Při podpětí tedy hrozí jejich přetížení a poškození. Vedení je vlivem podpětí ohroženo proudovým přetížením, jestliže napájí zátěž o konstantním výkonu.

Zkrat – projevuje se mnohonásobným navýšením provozního proudu v rozvodných zařízeních až na několiknásobek jmenovité hodnoty proudu elektrického zařízení. Tak velký proud s sebou nese nebezpečí ve velkém tepelném a dynamickém namáhání, které může trvale poškodit rozvodné zařízení, vedení a spotřebiče. V důsledku zkratového proudu dále dochází k poklesu napětí, a sice v nepřímé úměře se vzdáleností od místa zkratu. Zkrat může nastat v jedné, ve dvou nebo ve všech třech fázích, přičemž jednofázový zkrat vznikne jen v soustavě, kde je uzel zdroje uzemněn.

Zemní spojení – k této poruše dochází v izolovaných soustavách, kde uzel zdroje je buďto neuzemněn nebo je uzemněn přes velkou impedanci a dojde ke spojení jedné fáze se zemí. Tato porucha sice není natolik závažná jako samotný zkrat, nicméně v nepostižených fázích dochází k nárůstu napětí z fázové hodnoty proti zemi na hodnotu sdruženou, což tedy znamená přepětí, a případné spojení další fáze se zemí vyústí v regulérní zkrat.

Přetížení – stav, kdy je vedení nebo elektrické zařízení zatěžováno vyšším proudem než je proud jmenovitý. Vyšší proud způsobuje přehřívání vodiče, což může vést k tepelnému poškození izolace nebo ke snížení mechanické pevnosti vodiče. Nebezpečnost přetížení je odvislá od velikosti nadproudu a délce doby trvání. Pokud je přetížení krátkodobé, tak nemusí být nebezpečné, pokud teplota vodičů či jiných částí silnoprůdého rozvodu nepřekročí mez maximální povolené provozní teploty. Dlouhodobé přetížení však zpravidla nadměrné zahřátí vodičů či jiných částí silnoprůdého rozvodu způsobí a je proto nebezpečné. [1]

1. 2. Další poruchové stavy v ES

Výše uvedené poruchy jsou ty základní, se kterými se můžeme na vedení VN a VVN setkat. Mimo tyto základní poruchy existují i další, kterými se zabýváme častěji v oblasti výroby elektrické energie nebo rozvodu na přenosových napěťových hladinách VVN a ZVN.

Snížení nebo zvýšení kmitočtu – je projevem nedostatku resp. přebytku činného výkonu v ES. Tato porucha se odstraní vhodnou regulací soustavy, jež je nutno provést v oblasti výroby nebo spotřeby elektrické energie tak, aby se frekvence navrátila na požadovanou hodnotu.

Zpětný tok výkonu – velmi nebezpečný stav pro parní turbínu. Pokud by došlo k přerušení jejího přívodu páry, směr toku výkonu by se obrátil, z turbogenerátoru by se stal motor napájený z ES, který by turbínu roztáčel, čímž by ji mohl poškodit. Parní turbína je velmi drahé energetické zařízení a této situaci se musí zabránit. Zpětný tok výkonu se může vyskytnout také v případě dvou paralelně pracujících vedeních o různých hladinách napětí, kdy část výkonu protéká přes vedení s nižším napětím zpět do vedení s vyšším napětím. Dochází tak k přetěžování vedení o nižší hladině napětí.

Asynchronní chod – jedná se o stav, kdy synchronní generátor vypadne ze synchronismu např. ztrátou buzení. Asynchronní chod je jednak nebezpečný pro samotný generátor a turbínu a dále také způsobuje přetížení přívodního vedení a transformátoru.

Nesouměrnost zatížení – vzniká, pokud jednotlivé fáze statoru generátoru nejsou zatěžovány stejně velkými proudy. V takovém případě vznikne zpětná složka proudu, která vytváří magnetické pole točící se dvojnásobnou úhlovou rychlostí rotoru v opačném smyslu. V rotoru se tak mohou indukovat vířivé proudy, které způsobí nadměrné zahřívání stroje. [2]

1. 3. Požadavky kladené na elektrické ochrany

Na ochrany jsou v provozu kladeny různé požadavky a podle toho, jak vybraná ochrana těmto požadavkům vyhovuje, lze určit její jakost a vhodnost pro zvolený chráněný objekt. Každý chráněný objekt má svá specifika vyžadující odlišné priority při výběru ochrany, jejích vlastností a určení, která z požadovaných vlastností ochrany je pro chráněný objekt nejdůležitější. Proto se bez znalosti chráněného objektu nedá předem říci, který z požadavků je důležitější než jiný. Například u zemní ochrany je důležitější citlivost než rychlost, poněvadž pro indikaci zemního spojení je nutná citlivost i na malé zemní proudy, zatímco rychlost tak důležitá není, protože vedení se po zjištění zemního

spojení většinou nevypíná ihned. Opačný případ pak nastává u zkratové ochrany, kdy citlivost může být menší, neboť zkratové proudy zpravidla mnohonásobně převyšují proudy provozní. Vzhledem k tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu je však zapotřebí, aby ochrana vedení odpojila co nejrychleji a proto je po ochraně požadována vysoká rychlost jejího působení. [3]

Rychlost působení – doba, která uplyne od vzniku poruchy až do odpojení chráněného objektu. Je složena ze dvou částí, a sice doby reakce ochrany a vypínací doby výkonového vypínače. Nejrychlejší ochrany mají reakční dobu 0,02 - 0,04 s, za tuto časovou prodlevu ochrana rozpozná poruchu a vyše vypínací impuls. Výkonový vypínač disponuje vypínací dobou 0,05 - 0,06 s, což je dáno mechanickým rozpojením kontaktů a uhašením vzniklého oblouku. Jak již bylo zmíněno, rychlost působení ochrany je velmi důležitá při vypínání zkratových proudů, při kterých tedy celková doba působení ochrany bývá 0,07 – 0,1 s.

Citlivost ochran – schopnost ochrany reagovat na poruchy pouze v tom úseku, pro který byla ochrana navržena. Veličina, při níž ochrana reaguje, musí být menší než hodnota poruchové veličiny. Například nadproudová ochrana má rozběhový proud I_r . Zkratový proud v místě instalování ochrany dosahuje hodnoty I''_{kmin} . Citlivost je poté definována koeficientem citlivosti k_c jako:

$$k_c = \frac{I''_{kmin}}{I_r} \quad (1.1)$$

Velikost koeficientu citlivosti se pohybuje v rozmezí 1,5 - 2. U moderních digitálních ochran může být i nižší, avšak neměla by klesnout pod hodnotu 1,2. Menší hodnota se nedoporučuje vzhledem k bezpečnému působení ochrany. Zároveň ale také není vhodné, aby citlivost byla příliš vysoká. Je totiž nutné, aby ochrana byla necitlivá k provozním stavům v síti, jako například kývání v síti, zapínání transformátorů či rozběh velkých motorů.

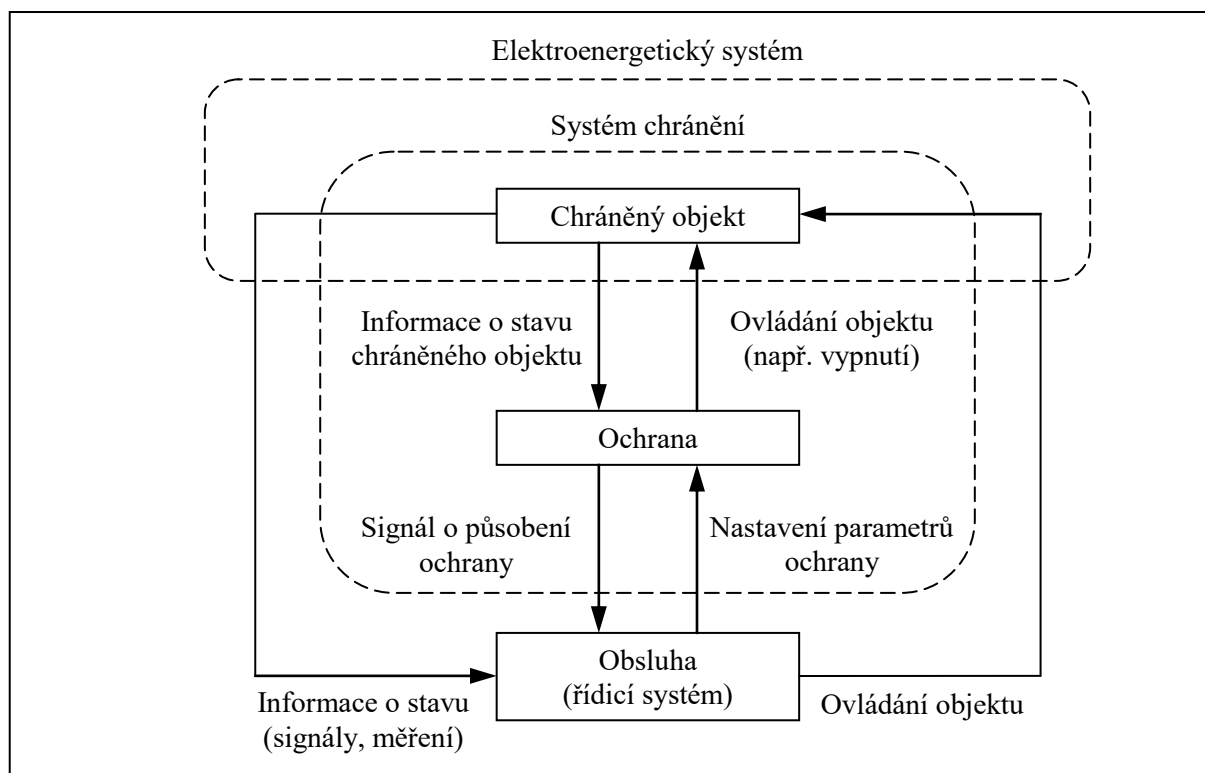
Selektivita ochran – obecnou snahou v ES je, aby při poruše určité části soustavy došlo k jejímu vypnutí takovým způsobem, že nejbližší vypínače od poruchy odpojí pouze co nejmenší úsek vedení. Je totiž důležité, aby co možná největší část nepoškozené sítě zůstala dále v provozu a ES tak byla co nejméně postižena. Selektivity dosahujeme buďto časovým odstupňováním působení ochran nebo vysíláním blokovacích impulsů od bezporuchových úseků.

Spolehlivost působení – spolehlivost ochrany spočívá v tom, že reaguje pouze ve správném okamžiku. Příklad, kdy ochrana zapůsobí, když nemá, je většinou ještě horší, než když ochrana nezapůsobí, když by měla. Je to dáno tím, že neopodstatněný výpadek způsobí zbytečné ekonomické ztráty, zatímco když by ochrana nezapůsobila, i kdyby měla, tak by ve většině případů měla být zastoupena její záložní ochranou. Nicméně oba případy jsou velmi nežádoucí a je kladen maximální důraz na to, aby ochrana byla spolehlivá. Proto je nutné funkci ochran pravidelně ověřovat a snažit se je konstruovat co možná nejjednodušeji. Vývojem technologií je na místě náhrada starších ochran s elektromechanickými prvky za novější ochrany s elektronickými obvody. [1]

1. 4. Obecný popis elektrické ochrany

Součástí elektrizační soustavy jako jsou generátory, transformátory, vedení či rozvodná zařízení jsou velmi drahá zařízení, které musíme chránit před nepříznivými poruchovými stavy, které se v provozu mohou objevit. Tento úkol v celé elektrizační soustavě plní elektrická ochrana. Jsou nesmírně důležité a to hned ze dvou důvodů. Prvním důvodem je pochopitelně ekonomické hledisko, protože výměna elektrického zařízení po každé poruše, která ho může poškodit bez toho, abychom se tomu snažili zabránit, by vyšla velmi nákladně. Druhým důvodem je spolehlivost dodání elektrické energie spotřebitelům. Je zřejmé, že pokud nastane porucha, tak výměna postižené části, kde porucha vznikla, je časově méně náročná, než výměna všech částí, které by se vlivem poruchy poškodily, protože nebylo zamezeno šíření poruchy na další zařízení. Je proto evidentní, že ochrany jsou velmi důležitá zařízení a provoz elektrizační soustavy by bez nich nebyl takřka možný.

Přestože ochrany je velké množství, přičemž se od sebe liší druhem poruchy, na které působí, a svými vlastnostmi, dá se obecně ochrana zobrazit modelem na obrázku č. 1.



Obr. č. 1 – Činnost ochrany s chráněným objektem a obsluhou

Ochrana tvoří několik základních členů, které jsou uvedeny níže. Platí však, že ne každá ochrana musí nutně všechny zmiňované členy obsahovat, respektive někdy funkce dvou členů může být shrnuta pouze v jednom.

Vstupní člen – jedná se o první člen, který navazuje na svorky ochrany, jimiž je připojen k přístrojovým transformátorům napětí a proudu. Jmenovité hodnoty vstupních napětí a proudů jsou 100 V a 1 nebo 5 A. Účelem vstupního členu je jmenovité hodnoty převést na ochranu dále

zpracovatelný signál o úrovni několika voltů a miliampérů, což je žádáno pro miniaturizaci ochrany. Ke snižování napěťové úrovně signálu se používají zpravidla bočníky, děliče napětí nebo malé transformátorky. U digitálních ochran vstupní člen představuje A/D převodník, jenž prostřednictvím vzorkování převádí analogový signál do podoby digitálního.

Popudový člen – v případě, že nastane na chráněném objektu poruchový stav, tak popudový člen tuto skutečnost zaregistruje a dává signál měřicímu členu a logice ochrany, která poruchový stav vyhodnotí a rozhodne, zdali je porucha v kompetenci ochrany a má tedy ochrana působit. Popudový člen tedy o ničem nerozhoduje, pouze uvádí v činnost další obvody ochrany. Popudový člen se vyznačuje svou vysokou citlivostí.

Měřicí člen – rozhoduje o tom, zda se v chráněném objektu vyskytla porucha nebo je provozovaný stav v pořádku. Vlastnosti celé ochrany jsou tedy často závislé na vlastnostech měřicího členu. Ochrany mohou být napěťové nebo proudové, jejich měřicí členy se poté liší pouze v tom, zda měří amplitudu střídavého napětí nebo proudu. Měřicí členy rozlišujeme na:

- Amplitudové, které reagují na velikost vstupního napětí nebo proudu a při překročení nastavené hodnoty vyšlou impuls o poruchovém stavu. Amplitudové měřicí členy mohou být konstruovány tak, aby reagovaly na střední, efektivní, stejnosměrnou nebo maximální hodnotu měřené veličiny. Dále se mohou dělit na závislé, rozdílové nebo tzv. amplitudový komparátor. Závislý měřicí člen má dobu působení závislou na velikosti měřené veličiny, což je typické pro závislé nadproudové ochrany. Rozdílovým měřicím členem jsou vybaveny rozdílové ochrany, které srovnávají velikosti více měřených veličin. Amplitudový komparátor se využívá v distančních ochranách.
- Součinnové, které měří napětí i proud a lze je využít např. pro měření činného výkonu. Součinným měřicím článkem jsou tedy vybaveny ochrany wattové a jalové. Dále je možné ho využít jako směrového členu. Ze součinnového měřicího členu pak vychází fázový komparátor, který má ve své podstatě stejný princip, ale disponuje vyšší citlivostí. Používá se u srovnávacích ochran.

Logika – je složena z elektronických obvodů a tvoří takový mozek ochrany. Přebírá impuls z popudového členu, v případě potřeby uvádí v chod měřicí člen, od kterého poté přebírá informaci o naměřených hodnotách, na základě kterých dává signál koncovému členu, jak se ochrana zachová.

Časový člen – slouží k tomu, aby v případě potřeby pozdržel signál z logiky a prodloužil tak dobu působení ochrany. Toto pozdržení může být buďto vyžadováno proto, aby byla zajištěna selektivita ochrany, tedy aby záložní ochrana nepůsobila dříve než ta ochrana, která je primárně určena k ochraně objektu. Dále toto pozdržení je výhodné proto, aby bylo zajištěno oprávněné rozhodnutí ochrany a aby ochrana nevybavila při krátkodobých přechodných dějích. Posledním případem, kdy se využívá pozdržení ochrany, je při spouštění asynchronního motorů. Jejich rozběh může akumulovat více energie a tím může docházet k přetížení vedení a rozvodných částí. To po tak krátkou chvíli nemusí být škodné, nicméně musí být zaručeno, že chráněný objekt nebude ohrožen.

Koncový člen – tento člen vysílá impuls buďto pouze k signalizaci poruchy nebo může zároveň působit na vypínač, který chráněný objekt odpojí z elektrizační soustavy.

Napájecí člen – zaručuje napájení ochrany. Nejčastějším způsobem napájení ochrany je akumulátorovou baterií, což je velmi spolehlivé, nicméně vyžaduje to pravidelnou kontrolu baterie. Ochranu lze také napájet ze střídavé sítě v rámci vlastní spotřeby stanice, ve které je ochrana umístěna. Tento způsob je však méně spolehlivý kvůli eventuálnímu výpadku elektrické energie a proto se využívá pouze výjimečně. Další možností je také napájet ochranu elektrinou odebíranou z přístrojových transformátorů. V případě tranzistorových ochran je kladen důraz na to, aby se do ochrany nedostal rušivý signál a proto napájecí obvod musí být galvanicky oddělen. [2]

1. 5. Rozdělení ochran

Ochrany lze třídit podle několika kritérií:

V první řadě lze ochrany rozdělit podle toho, co je předmětem jejich chránění. Nejčastěji chráněným objektem je vedení a v rámci rozvodu poté také přípojnice. Důkladně bývají chráněny generátory a transformátory. Mezi další elektrické zařízení, které je nutno chránit, patří např. motory, kompenzátory, kondenzátorové baterie aj.

Dále se ochrany často rozdělují podle poruchy, před kterou chráněný objekt chrání. Velmi často tak hovoříme o ochraně zkratové, proti přetížení, napěťové, podpěťové, kmitočtové, ochraně při zemním spojení, při zpětném toku výkonu, při ztrátě buzení či při nesouměrnosti.

Ochrany lze také rozdělit dle jejich funkčního principu na ochrany: proudové, napěťové, distanční, kde ochrana z naměřených hodnot proudu a napětí počítá impedanci, dále pak ochrany srovnávací, které měří buďto rozdíl amplitud, tzn. ochrany rozdílové, nebo rozdíl fází, tzn. ochrany fázové. Existují také ochrany měřící činný výkon, tzv. ochrany wattové, nebo jalový výkon, tzv. ochrany jalové. Nutno také neopomenout ochrany kmitočtové a ochrany při nesouměrnosti.

Další dělení je dle doby působení. Ochrany mžikové, pracují ihned po zjištění poruchy, časové závislé, rychlost působení je závislá na velikosti měřené veličiny, a časově nezávislé ochrany pracující při všech poruchách s konstantním vypínacím časem.

V poslední řadě lze ochrany rozdělit podle jejich konstrukce. Nejstarším typem ochran jsou ochrany elektromechanické, které se skládají z klasických relé. Postupným vývojem polovodičové techniky pak vznikly ochrany tranzistorové, kde činnost relé nahradily polovodičové součástky a integrované obvody. Vývojem číslicové techniky pak vznikly ochrany číslicové neboli digitální. Zde dochází k zpracovávání spojitých vstupních veličin na diskrétní signál, který je následně zpracován mikropočítači vybavenými ochranami. [2]

2. Teoretický rozbor vybraných ochran v rozvodu VN

Tato kapitola přináší rozbor ochran a jejich funkčních principů, přičemž se zaměřuje jen na ty, se kterými se lze setkat v rozvodně Kojetín. Jsou tedy popisovány ochrany vedení, transformátorů, je zde popsán smysl AOZ. Na závěr jsou zmíněny také ochrany zábleskové a logické systémy.

2.1. Nadproudové ochrany

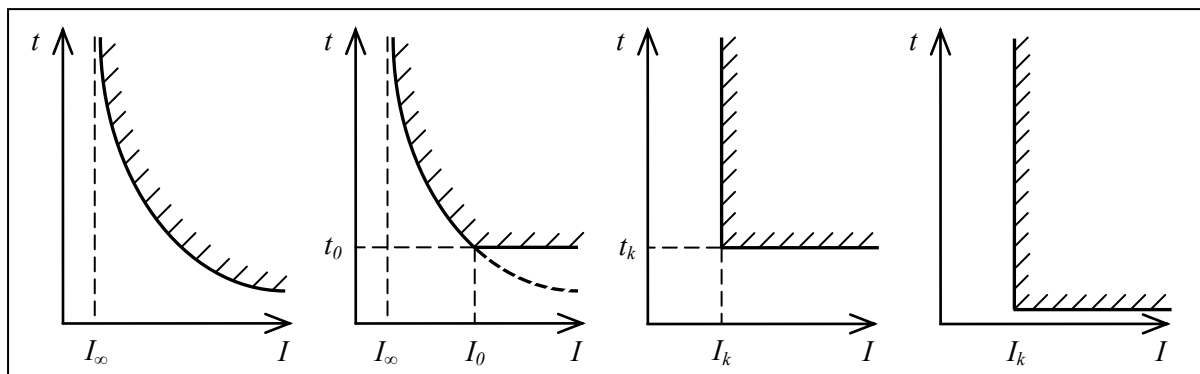
Nadproudové ochrany se vyznačují svojí jednoduchostí. V elektrizační soustavě se používají při chránění sítí VN, neboť tyto sítě bývají provozovány paprskově. U sítí VVN a ZVN, které bývají provozovány paralelně a v kruzích, dostávají přednost ochrany distanční a srovnávací. Nadproudové ochrany často plní funkci záložní – doplňkové ochrany. Funkční princip je založen na měření velikosti protékaného proudu chráněným objektem. Pokud je jeho hodnota proudu vyšší, než je nastaveno na ochraně, ochrana reaguje, protože nadproud je příznakem přetížení nebo zkratu. Nadproudové ochrany se dělí podle toho, jakým způsobem na tento poruchových nadproud reagují, na (viz obrázek č. 2):

- závislé – rychlost, s jakou ochrana na nadproud reaguje, je závislá na velikosti nadproudu. Jinak řečeno, rychlost působení je funkcí protékaného proudu chráněným objektem. Pro čas, ve kterém ochrana na poruchu reaguje, lze popsat dvěma rovnicemi:

$$t = \frac{K}{(I - I_{\infty})^n} \quad \text{pro } I > I_{\infty} \quad (2.1)$$

$$t = \infty \quad \text{pro } I \leq I_{\infty} \quad (2.2)$$

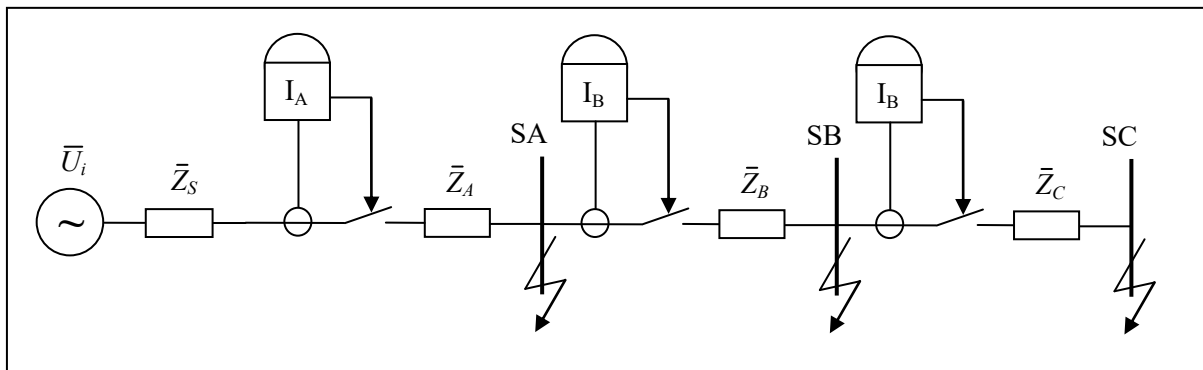
- polozávislé – mají stejnou charakteristiku jako v případě závislých ochran až do velikosti proudu I_0 . Velikost proudu I_0 je hranicí, od které již ochrana vypíná okamžitě (v nastaveném čase t_0), bez ohledu na to, o jak velký nadproud se jedná.
- nezávislé – tyto ochrany pouze hlídají jednu velikost proudu I_k . Pokud nastane překročení tohoto proudu, dojde k reakci ochrany v čase t_k , který je při všech velikostech nadproudu konstantní. Velikost proudu I_k a čas t_k jsou nastavitelné hodnoty na ochraně.
- mžikové – jedná se o typ nezávislých ochran, které reagují okamžitě bez jakéhokoli prodlení, respektive pouze v čase, který ochraně trvá, než rozpozná poruchový stav. Obvykle u moderních ochran hovoříme o 10 ms. [2]



Obr. č. 2 – Charakteristiky závislé, polozávislé, nezávislé a mžikové nadproudové ochrany

2. 1. 1. Nezávislé nadproudové ochrany

Nezávislé nadproudové ochrany nachází uplatnění v paprskových sítích VN, kde je řada úseků řazena v sérii. Často se využívají k ochraně vývodů vedení. Nejjednodušším případem je chránění paprskové sítě, přičemž impedance jejího vedení je mnohem nižší než impedance zdroje Z_S , který na síť přivádí konstantní napětí \bar{U}_i , viz následující obrázek č. 3.



Obr. č. 3 – Paprsková síť chráněná nezávislými nadproudovými ochranami

Selektivita je zajištěna různými rozběhovými proudy, které se vypočítají ze zkratových proudů, jejichž velikost je nepřímo úměrná vzdálenosti místa zkratu od zdroje, tedy impedancí zkratového obvodu. Z toho vyplývá, že hodnota zkratového proudu na konci vedení je nižší než hodnota zkratového proudu na začátku vedení.

Zkratový proud, vznikající na přípojnici SA:

$$\bar{I}_{kA} = \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_S + \bar{Z}_A} \quad (2.3)$$

Zkratový proud, vznikající na přípojnici SB:

$$\bar{I}_{kB} = \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_S + \bar{Z}_A + \bar{Z}_B} \quad (2.4)$$

Zkratový proud, vznikající na přípojnici SC:

$$\bar{I}_{kC} = \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_S + \bar{Z}_A + \bar{Z}_B + \bar{Z}_C} \quad (2.5)$$

Takhle chráněná síť nesmí obsahovat točivé stroje, které by eventuelní zkrat napájely z druhé strany, čímž by se narušila selektivita ochran. Pokud jsou z přípojníc vyvedeny další vývody, je nutné pro zachování selektivity učinit opatření tzv. znecitlivění ochrany směrem ke zdroji. Pro znecitlivění rozběhového proudu se použije vztah 2.6, přičemž $I_{r(n-1)}$ je rozběhový proud ochrany blíže ke zdroji.

$$I_{r(n-1)} = (1,1 \div 1,3) \cdot I_{rn} \quad (2.6)$$

Častěji se však setkáme s případem, kdy rozdíl velikosti zkratových proudů sousedních sekcí je natolik malý, že předešlý postup, a sice spoléhání se pouze na rozdílné rozběhové proudy, by nezaručil selektivitu ochran. Z tohoto důvodu se využívá časové odstupňování. V paprskových sítích

se s návrhem časového odstupňování začíná od konce vedení. Nejvzdálenější ochrana tedy vypíná v nejkratším čase a vypínací čas předcházející ochrany je navýšen o tzv. stupeň časové selektivity Δt :

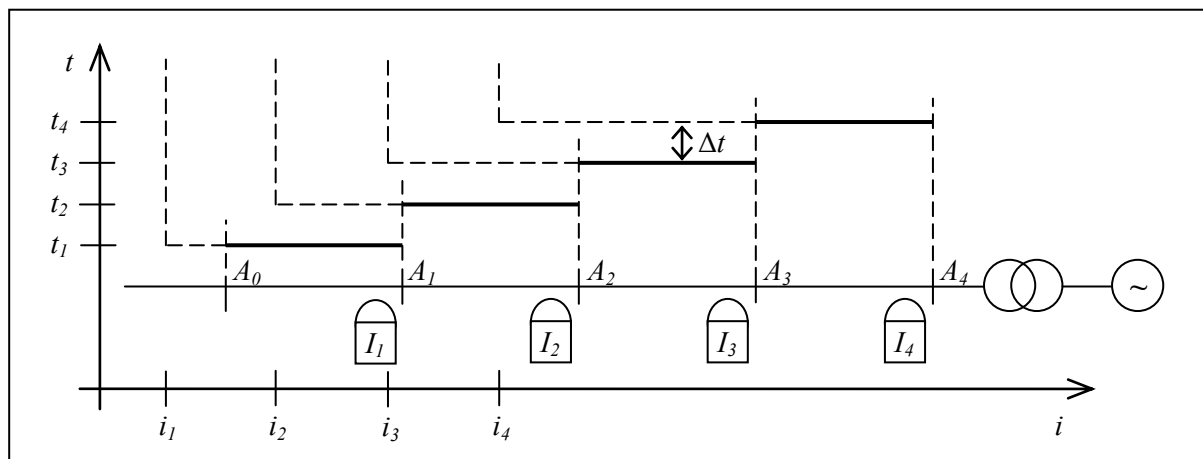
$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (2.7)$$

Pro přehlednost je nutné uvést, že se v některé literatuře můžeme setkat s rozdílnou interpretací tohoto vztahu, a sice:

$$\Delta t = t_{(n-1)} - t_n \quad (2.8)$$

Pro vyjasnění je nutné zohlednit to, jak je řazené číselné označení ochran. Aby platil vztah 2.8 tak by číselná řada označení ochran musela začínat na začátku vedení, tedy za zdrojem, a postupovat k jeho konci. V případě, jaký je zobrazen na obrázku č. 4, jsou ochrany číslovány směrem od konce vedení k jeho začátku, a proto platí vztah 2.7.

Časová difference Δt musí být dostatečně velká, aby nedošlo k překrytí pásem přesnosti jednotlivých ochran, což by vedlo k neselektivitě. Velikost Δt je tedy určena absolutními chybami časových členů ochran předcházejícího a následujícího úseku, dále také rychlostí vypínání vypínače předešlého úseku a bezpečnostní časovou rezervou, jež bývá 0,1 s. V provozu pak obvykle Δt nabývá hodnoty 0,2 až 0,5 s. Na následujícím obrázku č. 4 je možné vidět paprskovou síť chráněnou čtyřmi nezávislými ochranami. Z obrázku je patrné, že výhodou tohoto systému ochrany vedení je vzájemná záloha ochran a nevýhoda spočívá ve faktu, že těžší zkraty, které se mohou vyskytnout na začátku vedení ihned za zdrojem napájení, jsou vypínány v nejdelším čase. [3]



Obr. č. 4 – Nezávislé nadproudové ochrany v paprskové síti

Pro nastavení rozběhového proudu ochrany I_r se vychází z postupu, kdy se vypočtou dvě hraniční hodnoty – minimální a maximální, v jejichž intervalu se poté musí hodnota I_r pohybovat. Požívají se také dvoustupňové ochrany, na kterých se nastavují oba tyto rozběhové proudy, přičemž ochrana při jejich překročení reaguje s dvěma rozdílnými časy. Hovoříme poté o stupni nadproudovém vlivem přetížení a stupni zkratovém. Dvoustupňové ochrany jsou popsány dále pod následujícím postupem pro výpočet rozběhových proudů.

K určení minimální velikosti rozběhového proudu $I_{r\ min}$ se vychází z hodnoty proudu při maximálním dovoleném zatížení. Rozběhový proud ochrany určíme z následujícího vztahu:

$$I_{r\ min} \geq \frac{k_b}{k_p \cdot p_i} \cdot I_{DOV} \quad (2.9)$$

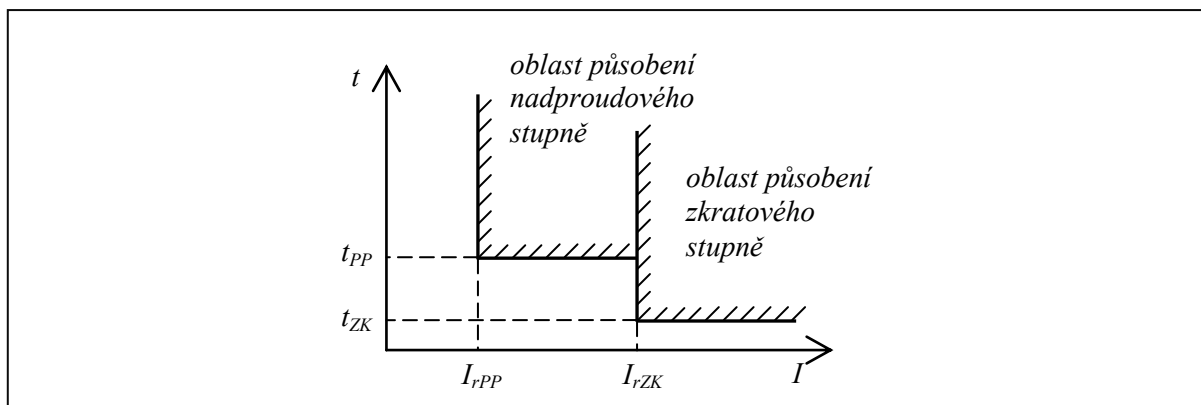
- I_{DOV} – maximální dovolený proud vedení (případně jiného chráněného objektu)
 k_b – koeficient bezpečnosti návratu ochrany do klidové polohy (pohybuje se od 1,05 až 1,35)
 k_p – přídržný poměr ochrany udávaný výrobcem (nejmenší přípustná hodnota 0,85)
 p_i – jmenovitý proudový převod jisticího transformátoru proudu

Určení maximální velikosti rozběhového proudu $I_{r\ max}$ vychází z nejmenší hodnoty zkratového proudu, která se může na vedení objevit. Nejmenší hodnota zkratového proudu obvykle nastává při dvoufázovém izolovaném zkratu a za předpokladu omezeného množství zdrojů pracujících do sítě. Dále se také uvažuje i omezená spotřeba elektrické energie a neuvažuje se provoz motorů, které by v případě zkratu mohly zkrat napájet. Takový stav odpovídá například nočním hodinám.

$$I_{r\ max} < \frac{I''_{k\ min}}{k_c \cdot p_i} \quad (2.10)$$

- $I''_{k\ min}$ – minimální hodnota zkratového proudu na vedení (případně jiného chráněného objektu)
 k_c – koeficient citlivosti nadproudových ochran (na základě praktických zkušeností se volí pro elektromechanické ochrany $k_c \geq 1,5$ a pro digitální ochrany $k_c \geq 1,2$).
 p_i – jmenovitý proudový převod jisticího transformátoru proudu

Pokud je žádáno, aby ochrana zvlášť působila na proudové přetížení a zvlášť na zkraty v tomtéž chráněném úseku vedení, potom je nutné využít dvoustupňovou nadproudovou ochranu. Tato ochrana umožňuje nastavit oba stupně rozběhového proudu a k nim nastavit dva odpovídající vypínací časy. Rozběhové proudy se určí ze vztahů 2.9 a 2.10, budiž jim nyní dáno označení I_{rPP} a I_{rZK} . První rozběhový proud I_{rPP} , reagující na přetížení, je nižší (odpovídá hodnotě cca $1,1 - 1,15 \cdot I_n$) a je vypínán v čase t_{PP} . Rozběhový proud reagující na zkrat I_{rZK} je vyšší a je vypínán v kratším čase $t_{ZK} < t_{PP}$. Jestliže pak pro poruchový proud I_{POR} platí $I_{rPP} \leq I_{POR} < I_{rZK}$, tak na něj reaguje nadproudový stupeň a ochrana vybaví v čase t_{PP} . Jestli se však na vedení objeví zkratový proud a bude tedy platit $I_{POR} > I_{ZK}$, rozběhne se v činnost nadproudový i zkratový stupeň ochrany, avšak vypnutí provede zkratový stupeň, neboť má kratší vypínací čas. Nadproudový stupeň má vypínací čas delší proto, aby se předešlo vypnutí vedení při nezávadných krátkodobých nadproudech. Tuto součinnost obou stupňů je možné pozorovat na obrázku č. 5. [4]

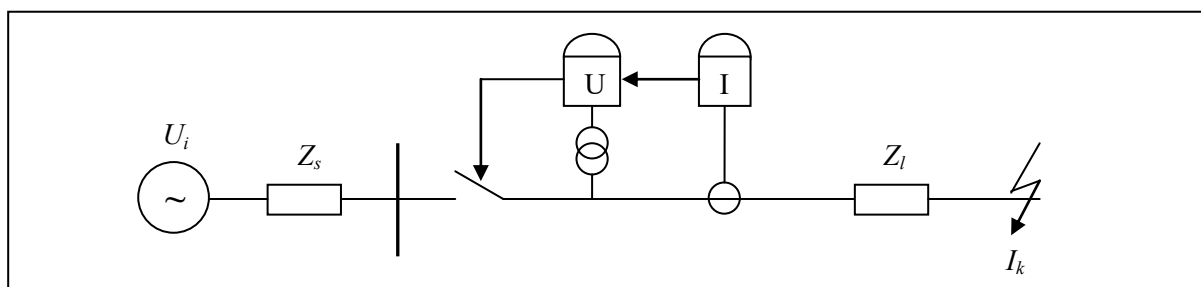


Obr. č. 5 – Vypínací charakteristika dvoustupňové nadproudové ochrany

Každý zkrat je doprovázen poklesem napětí. V místě zkratu napětí klesá téměř na nulu a se zvětšující se vzdáleností od místa zkratu napětí roste na svou provozní hodnotu. Toho lze využít k navýšení selektivity nadproudových ochran, a sice když nadproudovou ochranu doplníme ochranou podpětíovou. Princip je znázorněn na obrázku č. 6. Při zkratu vedením teče poruchový nadproud, na který zareaguje nadproudová ochrana. Její vypínací impuls je ještě před odesláním na výkonový vypínač přejat podpětíovou ochranou. V případě blízkého zkratu dochází k takovému snížení napětí, že na něj podpětíová ochrana reaguje a pouští vypínací impuls nadproudové ochrany dále na výkonový vypínač, který vedení definitivně odpojí. Pokud by se však jednalo o zkrat vzdálený, který není v kompetenci této ochrany, nedošlo by k poklesu napětí pod hlídanou mez, podpětíová ochrana by impuls z nadproudové ochrany zablokovala a k vypnutí vedení touto ochranou by nedošlo.

Pro nastavení podpětíové ochrany se vychází ze vztahu:

$$U_{k\max} = Z_l \cdot I_k = \frac{Z_l}{Z_l + Z_s} \cdot U_i \quad (2.11)$$



Obr. č. 6 – Princip podpětíového blokování

Praxí je prokázáno, že při napájení dlouhých vedení z velkých zdrojů je citlivost napětíových relé nedostatečná. Ještě je nutno uvážit, že při doplnění nadproudové ochrany o podpětíové blokování přijde ochrana o schopnost chránění proti přetížení vedení, poněvadž to není doprovázeno výrazným poklesem napětí. Podpětíové blokování má tedy i své nevýhody. Nadproudové ochrany s podpětíovým blokováním jsou tak doménou jen krátkých a silně zatížených vedení. [2]

2. 1. 2. Závislé nadproudové ochrany

Závislé ochrany mají oproti nezávislým ochranám jednu zásadní výhodu, a sice vypínání poruchy na začátku chráněného úseku vedení je rychlejší než na jeho konci. Těžké zkraty blízko zdroje jsou tedy vypínány rychleji než při chránění vedení nezávislou ochranou. Aby bylo možné tento druh ochrany aplikovat na vedení, musí být impedance vedení Z_l mnohem větší než vnitřní impedance zdroje Z_s , jedná se tedy o opačný požadavek, než který byl u ochran nezávislých. [2]

Zkratový proud na začátku chráněného úseku se spočte:

$$\bar{I}_z = \left| \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_s} \right| \quad (2.12)$$

Zkratový proud na konci stejného úseku je roven:

$$\bar{I}_k = \left| \frac{\bar{U}_i}{\bar{Z}_s + \bar{Z}_l} \right| \quad (2.13)$$

Využijeme-li charakteristickou rovnici pro závislé ochrany (vztah 2.1), zavedeme-li zjednodušující předpoklad $I_\infty = 0$ a dosadíme-li zkratové proudy na začátku a na konci chráněného úseku vedení, dostaneme vypínací časy t_z (pro začátek úseku) a t_k (pro konec úseku).

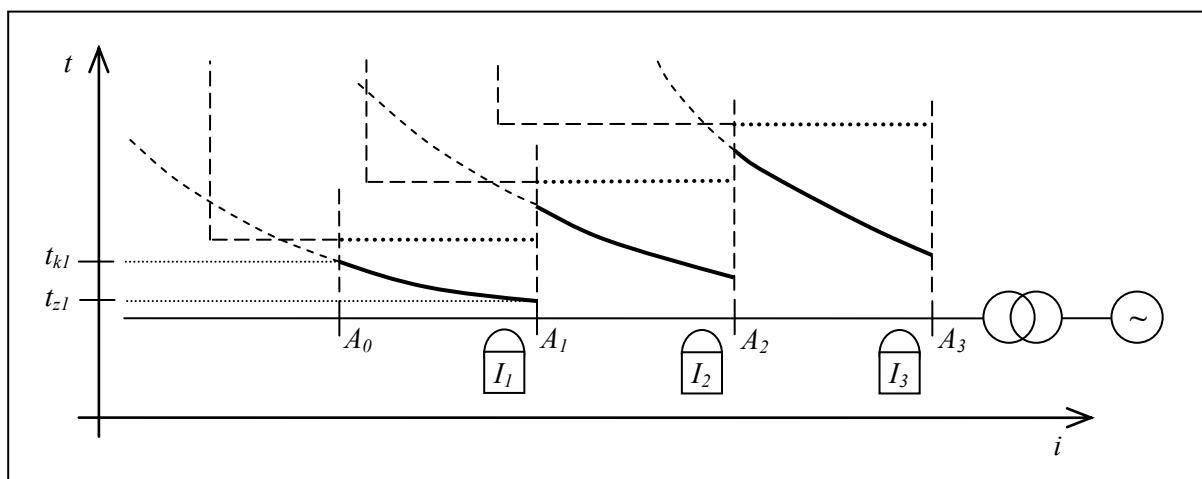
$$t_z = \frac{K}{\bar{I}_z} = K \cdot \left| \frac{\bar{Z}_s}{\bar{U}_i} \right| \quad (2.14)$$

$$t_k = \frac{K}{\bar{I}_k} = K \cdot \left| \frac{\bar{Z}_s + \bar{Z}_l}{\bar{U}_i} \right| \quad (2.15)$$

Poměr doby vypnutí poruchy na začátku a na konci úseku je dán následujícím vztahem 2.16. Má-li mít použití závislé ochrany skutečně význam, je patrné úvodní tvrzení, že impedance vedení musí být vyšší, než je vnitřní impedance zdroje.

$$\frac{t_z}{t_k} = \left| \frac{\bar{Z}_s}{\bar{Z}_s + \bar{Z}_l} \right| \quad (2.16)$$

Vypínací plán závislých ochran je znázorněn na následujícím obrázku č. 7.



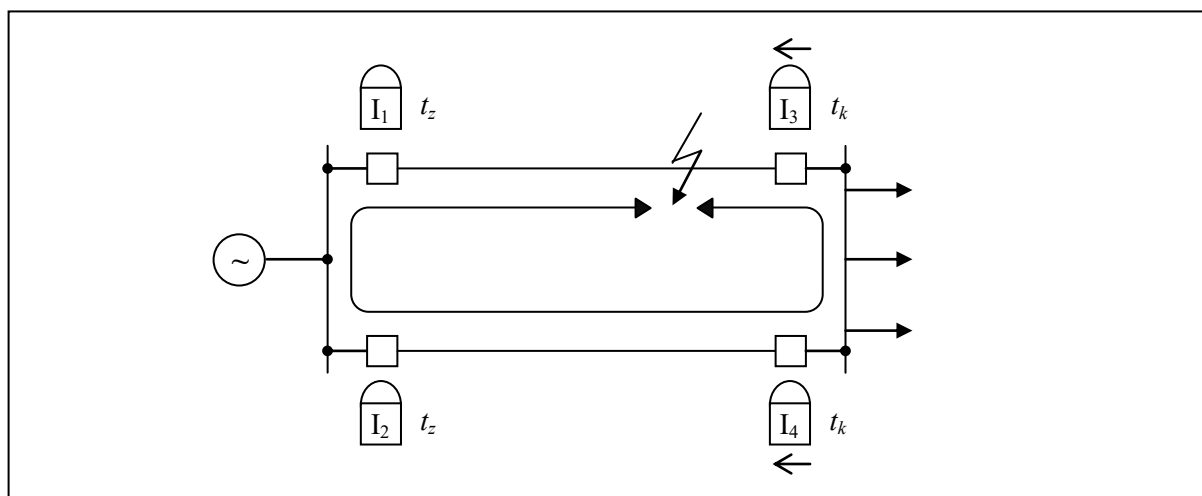
Obr. č. 7 – Závislé nadproudové ochrany v paprskové síti

Na obrázku č. 7 jsou pro názornost mimo charakteristik závislých ochran, které jsou naznačeny tučně, vyvedeny tečkovanou čarou také charakteristiky ochran nezávislých. Jsou patrné různé vypínací časy t_z a t_k pro vypínání zkratu na začátku a konci jednoho úseku vedení. [3]

Závislé ochrany se častěji používají v sítích, které mají uzel uzemněný přímo nebo přes rezistor. V sítích s izolovaným uzlem a s kompenzací se využívá spíše nezávislých ochran. U nezávislých ochran nejsou díky pevně nastavenému vypínacímu času problémy s dodržením selektivity. Z těchto důvodů se u nás využívají převážně nezávislé ochrany. [2]

2. 1. 3. Směrové nadproudové ochrany

Pokud bychom chtěli využít běžných nadproudových ochran k chránění okružního vedení nebo vedení napájeného ze dvou stran, nastal by problém. V případě provozu paralelního vedení a zkratu na jedné z větví by ochrany nebyly schopny nalézt místo zkratu a vypnuly by obě paralelní linky vedení. Učinily by tak proto, aby nedocházelo k napájení zkratu z druhé strany přes nepoškozenou linku. Řešení této situace přináší vybavení každé linky nadproudovými ochranami na jejím začátku a na konci, přičemž koncová nadproudová ochrana bude navíc vybavena směrovým článkem. Směrový článek kontroluje směr toku elektrického proudu a dovolí ochraně vyslat vypínací impuls pouze v případě, že směr toku proudu se shoduje s nastaveným směrem. Pokud se tyto směry neshodují, jedná se o zkrat na jiné lince a ochrana nevybaví. Princip je na následujícím obrázku č. 8.



Obr. č. 8 – Použití nadproudové ochrany se směrovým článkem na paralelním vedení

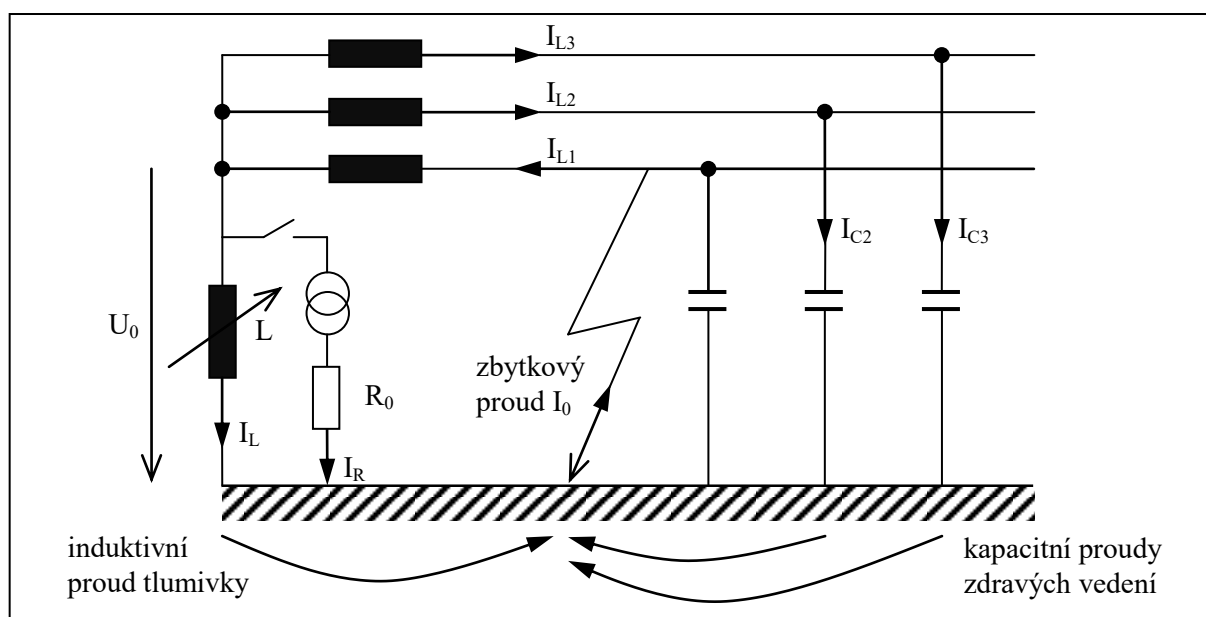
Koncové ochrany mají nastavenou kratší vypínací dobu, než ochrany na začátcích vedení $t_k < t_z$. Pokud na první lince dojde ke zkratu, postup jejího vypnutí je následující. Nadproudové ochrany I_3 a I_4 zaregistrují zkratový nadproud. U ochrany I_4 je směr toku proudu opačný, než je jeho zadáný směr, tudíž vypínací impuls je blokován a ochrana nereaguje. V případě ochrany I_3 je směr toku proudu totožný s nastaveným směrem, proto tato ochrana postiženou linku odpojuje. Ochrana I_2 přechází do klidového stavu, neboť z jejího pohledu zkrat zanikl. Ochrana I_1 provádí definitivní vypnutí postižené linky. Nepoškozená druhá linka zůstává v provozu. [5]

2. 2. Ochrany při zemních spojeních

Zemní spojení je specifický druh poruchy, jenž může vzniknout v izolovaných sítích nebo v sítích, kde je uzel transformátoru uzemněn přes velkou impedanci. V České republice bývají takto provozována vedení VN, která bývají jednostranně napájena. Jednopolová porucha v takové síti nepředstavuje zkrat, nýbrž zemní spojení.

2. 2. 1. Sít' se zemním spojením

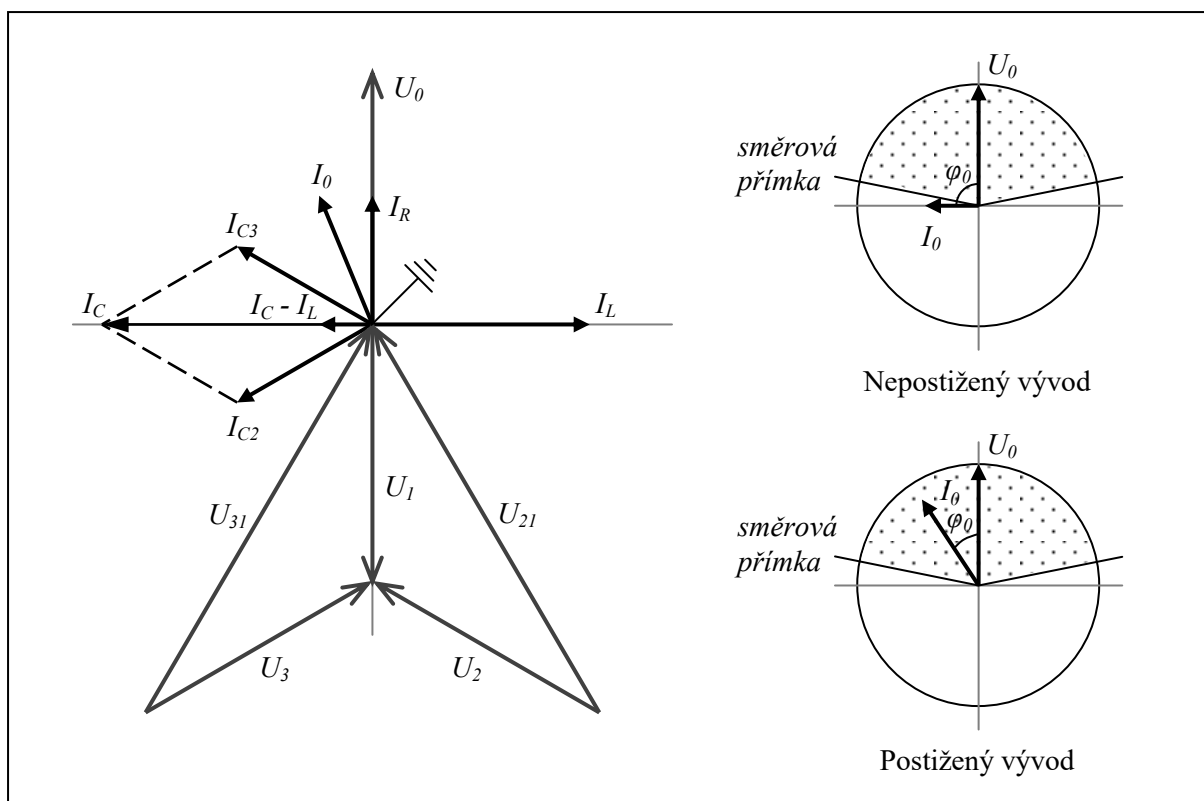
Pokud při provozu sítě s izolovaným uzlem dojde ke spojení jednoho fázového vodiče se zemí, například utržením vodiče a jeho následným pádem na zem, tak touto postiženou fází začne protékat proud, který se uzavře přes kapacity ostatních nepostižených fází. Tento proud je kapacitního charakteru a je zřejmé, že jeho velikost je mnohem nižší než hodnota jednopolového zkratového proudu v uzemněných sítích. Hodnota proudu však není natolik malá, aby nemohla způsobit nebezpečné situace. Vyšší kapacitní proud zemního spojení je jednak schopen vytvořit oblouk v místě zemního spojení a také způsobit situaci, kdy už není možno zajistit v případě zemního spojení dostatečně nízké dotykové napětí. Řešení tkví v tzv. kompenzaci sítě, což je realizováno vřazením indukčnosti mezi uzel zdroje a zem. Indukčnost tvoří zhášecí tlumivka neboli Petersonova cívka. Tlumivka v případě poruchy dodá do místa zemního spojení proud induktivního charakteru, který má opačný směr než kapacitní proudy dodávané do místa zemního spojení kapacitami nepostižených vodičů. Tyto proudy působí proti sobě a v ideálním případě je výsledný proud tekoucí zemním spojením roven nule. Realita je však taková, že induktivní proud tlumivky není čistě induktivní a kapacitní proudy vodičů nejsou čistě kapacitní. Zemním spojením tak i přes kompenzaci prochází proud malé hodnoty činného charakteru, který bývá označován jako proud zbytkový. V případě kompenzovaného zemního spojení však při zbytkovém proudu oblouk sám uhasíná a je zajištěna dostatečná bezpečnost s ohledem na dotykové napětí neživých částí. [8]



Obr. č. 9 – Zjednodušené schéma kompenzované sítě se zemním spojením

Na obrázku č. 9 je zobrazena síť s uzemněným uzlem přes zhášecí tlumivku. Tlumivka je laditelná, aby co nejlépe kompenzovala případnou změnu kapacity sítě. Na obrázku č. 10 vlevo je zobrazen fázorový diagram kompenzované sítě se zemním spojením.

K cívce je paralelně řazen odporník, který se připojuje v době zemního spojení na dobu přibližně 1 sekundy. Hodnota ohmického odporu odporníku byla zjištěna zkouškami. Příliš nízké hodnoty odporu odporníku způsobují v době jeho připojení velké proudy zemního spojení. Naopak pokud hodnota odporu odporníku je příliš velká, dochází k poklesu U_0 a ochrany nejsou schopné měřit. Zkoušky ukázaly, že optimální hodnota odporu odporníku je $0,5 \Omega$ na sekundární straně transformátoru, respektive 354Ω po přepočítání na jeho primární stranu. Smyslem řazení tohoto odporníku do kompenzované sítě je zajištění správného vyhodnocení poruchy ochranou proti zemnímu spojení. Jak již bylo řečeno, v kompenzované síti je zbytkový proud velmi malý. Při zemním spojení odporník způsobí vznik činného proudu, který protéká přes postiženou fázi. Tato činná složka proudu způsobuje přiblížení fázoru proudu I_0 k fázoru napětí U_0 , tedy snížení velikosti jejich vzájemného úhlu φ_0 , viz obrázek č. 10 vpravo. Úhel φ_0 je ovlivněn úhlovou chybou proudových transformátorů a zjednodušením výpočtu. Praxí je dokázáno, že u nepostiženého vývodu neklesne úhel φ_0 pod 75° a v postiženém vývodu nepřesáhne 65° . [9]



Obr. č. 10 – Fázorový diagram sítě při zemním spojení, natočení úhlu φ_0

2. 2. 2. Zemní směrové ochrany a jejich nastavení

Na pozorování a vyhodnocení zemního spojení dle veličin U_0 , I_0 a φ_0 je založena wattmetrická metoda. Zemní směrová ochrana využívající tuto metodu sleduje směr toku jalové i činné energie do

místa zemního spojení a je schopna určit, zda na vedení k zemnímu spojení došlo a popřípadě ve kterém vývodu. Zemní směrová ochrana může také pracovat na základě metody konduktanční. Ta je založena na sledování reálné části netočivé složky admitance obvodu. Využívá tak skutečnosti, že při zemním spojení dochází právě ke změně reálné složky admitance – konduktance. Obě tyto metody jsou vhodné pro kompenzované sítě, pro sítě nekompenzované se používají metody jiné. [10]

Co se týče nastavení zemních směrových ochran, tak se z důvodu zjednodušení výpočtů a nepřesností měření bylo v zásadě zvoleno jednotné nastavení všech zemních směrových ochran. U ochran pracujících s wattmetrickou metodou se nastavuje velikost zbytkového napětí U_0 přepočítaného na sekundární stranu PTN na hodnotu $U_0 = 15 V_{\text{sek}}$. Obecně to tedy znamená, že popudová hodnota napětí uzlu proti zemi je 15 % jmenovitého napětí sítě. Dále pro nastavení wattmetrické ochrany se zadává hodnota I_0 , která je stanovena na $I_0 = 2 A_{\text{prim}}$, tzn. na primárním vinutí PTP. U ochran pracujících s konduktanční metodou je velikost nastaveného zbytkového napětí U_0 stejná, a sice $U_0 = 15 V_{\text{sek}}$. Velikost konduktance se nastavuje na hodnotu $G_0 = 2 mS_{\text{sek}}$, což s jistotou vyhovuje pro PTP do převodu 400/5 A. Pro větší převody se volí hodnota $G_0 = 1 mS_{\text{sek}}$. [9]

2. 3. Automatika opětovného zapínání

Pokud na vedení nastane vážná porucha, dříve zmiňované ochrany se postarají, aby vedení bylo vypnuto. Vedení je tak chráněno před poškozením, nicméně koncoví spotřebitelé jsou v ten moment bez elektřiny, což obvykle přináší ekonomické ztráty, dokud obsluha vedení nezajistí jeho opětovné připojení. Statisticky bylo zjištěno, že přibližně z 80 % se jedná o poruchy přechodné, tedy jedná se o poruchy, které se samy vyřeší dočasným odpojením od zdroje elektrické energie. Typickým příkladem těchto poruch jsou zkraty vyvolané náhodným přiblížením vodičů při nepřízní počasí, spojením vodičů spadlými větvemi stromů či ptactvem. Žádná ochrana však není schopna rozlišit poruchu přechodnou od trvalé. Proto byla zavedena automatika opětovného zapnutí (AOZ).

Podstata funkce AOZ je prostá, nastane-li porucha na vedení, dojde k jeho vypnutí. Nastává beznapěťová pauza, která je důležitá pro deionizování prostoru dráhy oblouku v místě zkratu. Z praktických zkušeností je zjištěno, že ideální doba trvání této pauzy je 0,2 – 0,3 sekundy. Po této době dojde k opětovnému připojení vedení. Pokud porucha trvá dále, dojde k dalšímu pokusu AOZ, přičemž tentokrát bývá beznapěťová pauza delší, a sice v řádech sekund. Pokud pokus AOZ o vyřešení poruchy opět selže, dojde k trvalému odpojení vedení. Valná většina poruch však bývá vlivem AOZ vyřešena. Zároveň statistiky dokazují, že většina poruch bývá jednopólových. Proto AOZ bývá často provedena tak, že při poruše první odpojení vedení provede jednopólově, tzn. že, odpojí pouze zkratem postiženou fázi, a až při případném druhém působení odpojí všechny tři fáze.

AOZ tedy zkracuje dobu výpadků při přechodných zkratech a navíc pozitivně přispívá k udržení stability chodu ES. AOZ je schopna spolupracovat s různými typy ochran a měla by spolupracovat s rychlými vypínači, které jsou schopné rychlého opětovného vypnutí a zapnutí. U kabelových vedení je přechodný zkrat nepravděpodobný, proto se zde AOZ nepoužívá. [4]

2. 4. Ochrany transformátorů

Transformátory jsou obecně velmi důležité prvky přenosové a rozvodné soustavy, poněvadž jejich spolehlivost do značné míry ovlivňuje celkový bezporuchový chod daného úseku soustavy, který napájejí. Transformátory jsou ovšem také velmi nákladné zařízení, proto se věnuje velká pozornost při jejich chránění před poruchami. Poruchy mohou být v zásadě dvojího druhu, a sice poruchy vnější neboli průchozí, které vznikají mimo transformátor, a poruchy vnitřní, které vznikají přímo v transformátoru. Poruchy vnější nejsou poruchy samotného transformátoru, ale mají na něj negativní dopad. Patří zde vnější zkrat a přetížení. Obě tyto poruchy způsobují především nežádoucí nadměrný ohřev transformátoru, což může vést k předčasné degradaci izolace vinutí či chladicího oleje. Transformátor je proti těmto poruchám chráněn ochranami nadproudovými. Naproti tomu poruchy vnitřní, které již jsou způsobeny závadou v transformátoru, lze dále rozdělit na ty, co se objevují náhle a je možné je okamžitě detekovat, a na ty, co se objevují pozvolna a jejich detekce v prvopočátku není tak snadná. Zatímco na náhlé poruchy, jako jsou například zkraty na svorkách, zkraty na vinutí či na kostru, existuje velká škála ochran – nadproudové, rozdílové, srovnávací, distanční, nádobové či plynové relé, tak proti pozvolně objevujícím poruchám transformátor chrání pouze plynové relé. Pozvolně objevující poruchy mohou být například špatné galvanické styky, špatná izolace plechů, vznik mikrooblouků, poruchy chlazení či vývin plynů v oleji. [6]

Samotné ochrany jsou také nákladné zařízení a při jejich instalaci nikdy nelze dopředu s jistotou říci, zda se investice do nich vyplatí. Může se stát, že chráněný objekt za dobu své životnosti nebude postižen žádnou poruchou a ochrana tak nebude nikdy užita. Možnost případné poruchy nesmí být brána na lehkou váhu, nicméně není nutno každé zařízení chránit všemi dostupnými ochranami. Jak vybrat adekvátní systém ochran pro elektrické zařízení, respektive pro transformátory, v rozvodu elektrické energie na našem území určuje podniková norma PNE 38 4065. Norma byla vytvořena českými a slovenskými distribučními společnostmi, které se nyní těmito pravidly samy řídí. Transformátor VVN/VN by měl dle této normy být chráněn nadproudovými ochranami na obou stranách, rozdílovou ochranou a plynovým relé. Žádána je také automatická regulace napětí. V některých odůvodněných případech, může být žádána ochrana kostrová nebo distanční. [12]

2. 4. 1. Rozdílové ochrany

Rozdílové ochrany vyhodnocují poruchu transformátoru podle rozdílů fázorů proudů. Rozdílové ochrany mohou být příčné nebo podélné. Zatímco příčné rozdílové ochrany srovnávají vstupní proudy dvou transformátorů o stejných provozních parametrech, tak častěji používané podélné rozdílové ochrany srovnávají proudy na všech vstupech a výstupech jednoho chráněného transformátoru. V normálním ideálním případě je rozdílový proud, jenž je součtem všech proudů na všech vstupech a výstupech, roven nule. [2]

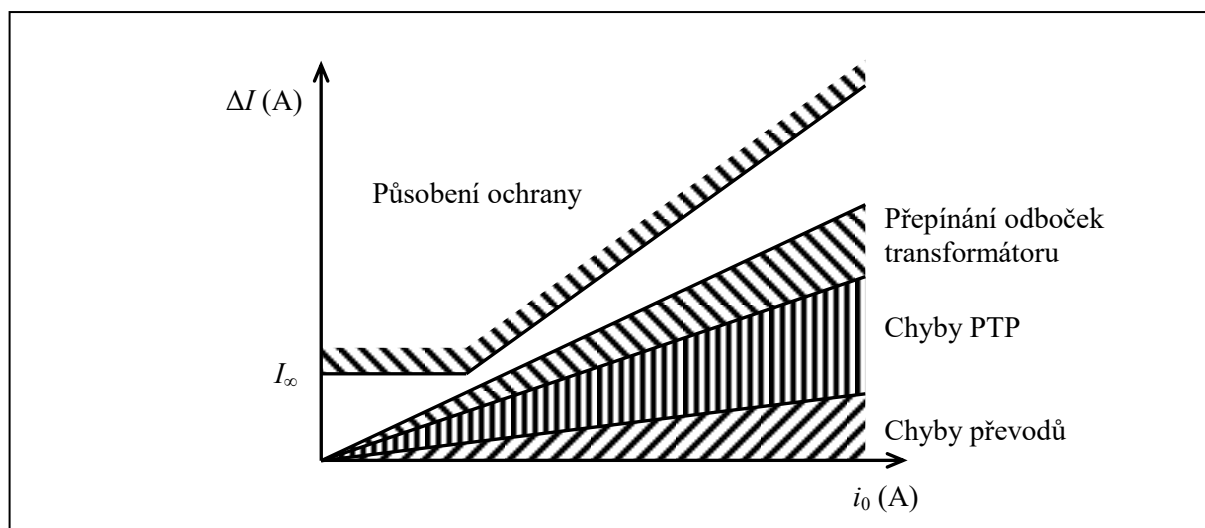
V reálném případě však rozdílový proud není nikdy roven nule ani v normálním bezporuchovém stavu. První příčinou, proč tomu tak je, je skutečnost, že výstupní proudy PTP, které

zprostředkovávají informaci o velikosti vstupních a výstupních proudů transformátoru pro ochranu, nikdy nemohou být stejné ani v případě, kdy se jedná o bezporuchový stav. Pokud primární a sekundární vinutí chráněného transformátoru mají rozdílný počet závitů, tedy pokud jeho převod není roven jedné, tak poté i PTP měřící proudy na primární a sekundární straně mají rozdílné převody. Z toho vyplývá, že tyto PTP mají jinou konstrukci, dimenzování jejich jader je rozdílné, což ve výsledku znamená, že chyby PTP budou rozdílné. To je první příčina, proč rozdílový proud v bezporuchovém provozu nemůže být roven nule. Druhou komplikací je přepínání odboček transformátoru, za účelem regulace napětí na výstupu transformátoru. Aby se tento vliv eliminoval, musely by být regulovatelné i převody PTP, což by bylo velmi komplikované, náročné na zajištění spolehlivosti a také značně drahé. Z těchto důvodů se v praxi používají PTP s pevným převodem, který je určený středním bodem regulačního rozsahu chráněného transformátoru, i za cenu toho, že se musí počítat s vyrovnávacími proudy tekoucími při jiných polohách přepínače odboček.

S těmito uvedenými okolnostmi, které způsobují i v bezporuchovém stavu tok rozdílového proudu, je nutno počítat, aby rozdílové ochrany nezpůsobily odpojení transformátoru v neopodstatněném případě. Proto byla zavedena tzv. procentuální rozdílová metoda, na jejímž základě rozdílové ochrany pracují. Jejím smyslem je to, že rozdílový proud ΔI musí překročit pevně nastavenou hodnotu K omezujícího proudu v transformátoru i_0 . Omezující proud i_0 je definován jako průměr primárního a sekundárního proudu. Ochrana tedy zapůsobí, pokud:

$$\Delta I \geq K \cdot i_0 \quad (2.17)$$

K je sklon procentuální rozdílové charakteristiky, viz obrázek č. 11. Je uváděn v procentech a obvykle nabývá hodnot 10, 20 a 40 %. Je zřejmé, že ochrana se sklonem 10 % je citlivější na poruchy a zároveň náchylnější na neopodstatněné vypnutí než ochrana se sklonem 40 %. [4]



Obr. č. 11 – Procentuální charakteristika ochrany

Další skutečností, kterou je nutné pro správnou funkci ochran brát v potaz, je vliv zapojení vinutí chráněného transformátoru. Při různém hodinovém úhlu transformátoru, nejčastěji při zapojení

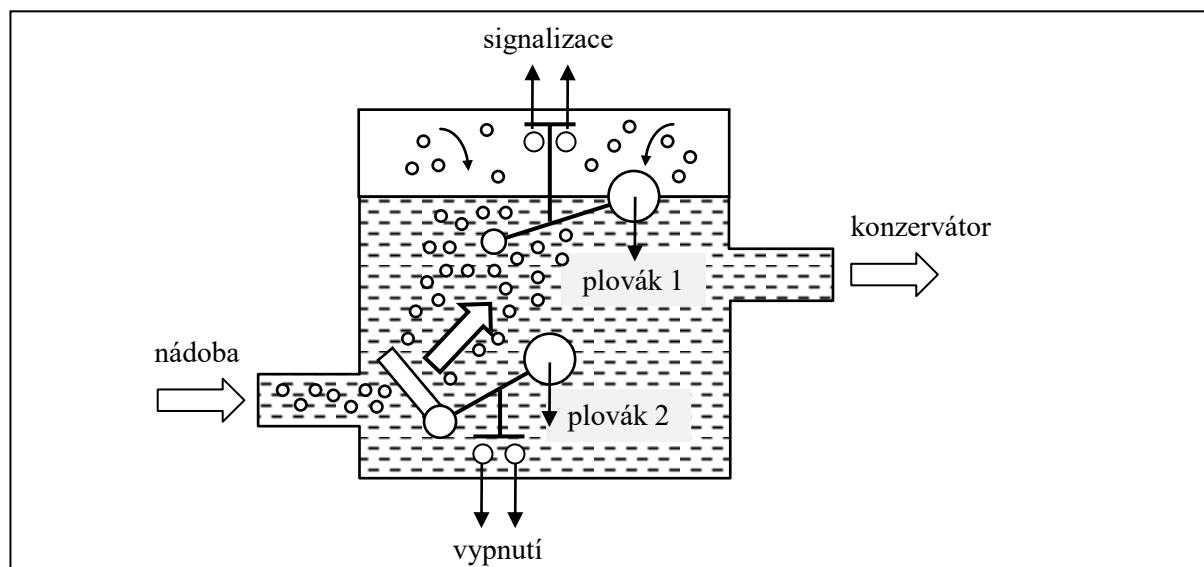
primárního vinutí do hvězdy a sekundárního do trojúhelníka, je tomu nutno přizpůsobit i zapojení PTP, tedy je nutno provést vyrovnání fázového natočení proudů. U starších elektromechanických ochran se provádělo zapojení, kdy sekundární vinutí PTP na straně jedné byly zapojeny stejně jako silové vinutí transformátoru na straně protější. Spojení sekundárních vinutí PTP bylo tedy zrcadlovým obrazem spojení vinutí chráněného transformátoru. Moderní digitální ochrany jsou již sofistikovanější a tento problém jsou schopny samy vyřešit přepočtem. Pro správnou funkci jim stačí zadat příslušné zapojení chráněného transformátoru.

Dále je nutné věnovat pozornost jistění transformátoru rozdílovou ochranou při rozběhu, pro zjednodušení se uvažuje chod naprázdno. Transformátor v takovém případě odebírá magnetizační proud, který protéká jeho primárním vinutím, zatímco proud v jeho sekundárním vinutí je nulový. Jak velký bude při zapnutí magnetizační proud, závisí na okamžiku zapnutí a na remanenci jádra transformátoru, která je dána okamžikem posledního vypnutí transformátoru. Proud je složen z ustálené střídavé složky a přechodné stejnosměrné složky. V nejméně příznivých podmínkách může být zapínací proudový ráz až šestinásobkem jmenovitého proudu. Tento zapínací ráz působí na rozdílovou ochranu jako porucha, takže pro správnou funkci musí být ochrana vybavena blokováním při zapínacím rázu. Blokování může být provedeno časovým zpožděním, což vzhledem k tomu, že rozdílová ochrana má reagovat rychle, není ideální řešení, nebo filtrem na druhou harmonickou. Magnetizační proudový ráz obsahuje výraznou druhou harmonickou proudu, proto když je zjištěna přítomnost této harmonické, vypínací impuls ochrany je blokován a k vypnutí nedojde. Tak je zajištěn spolehlivý rozběh transformátoru bez nežádoucího vypnutí. [2]

2. 4. 2. Buchholzovo relé

Jedná se o velmi citlivou transformátorovou ochranu, která je založena na mechanickém principu činnosti. Podmínkou využitelnosti této ochrany je, že se musí jednat o transformátor s olejovým chlazením. Poruchy uvnitř transformátoru jsou doprovázeny vznikem oblouků, které v oleji zapříčiní vývin plynů. Tyto plyny způsobují tlakové vlny v oleji, na které je schopna ochrana reagovat, proto se ochrana také druhým názvem označuje jako plynové relé.

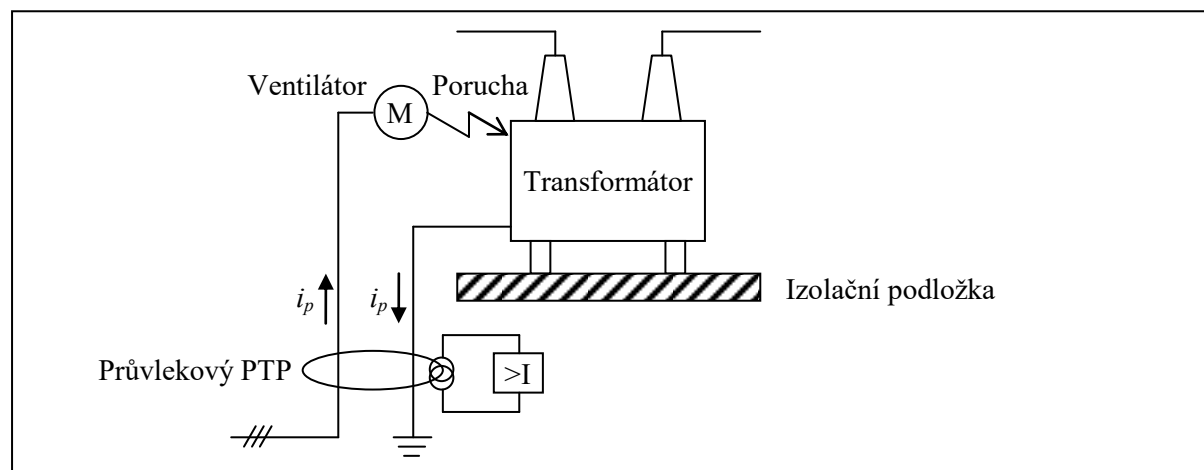
Plynové relé se umísťuje do potrubí mezi nádobou transformátoru a konzervátorem. V normálním provozu je plynové relé naplněno olejem. Při poruše v transformátoru dojde k vývinu plynů, které způsobí překlopení prvního plováku, který sleduje výši hladiny oleje. Tento plovák většinou sleduje pomalé poruchy, přetížení nebo menší pokles hladiny oleje. Výstupní informací prvního plováku je většinou pouze signalizace, která nevede k odstavení transformátoru. Když však dojde k závažné poruše, a sice k vnitřnímu zkratu, vývin plynů způsobí značné proudění oleje z nádoby směrem do konzervátoru, na což reaguje klapka, která strhne druhý plovák. To způsobí odpojení transformátoru ze všech stran. Vypnutí také způsobí situace, kdy dojde k značnému úniku oleje, což taktéž způsobí pokles druhého plováku. Překlopení obou plováků v závislosti na poruchách je názorně předvedeno na obrázku č. 12. [4]



Obr. č. 12 – Princip Buchholzova relé

2. 4. 3. Nádobové ochrany

Nádobová ochrana neboli zemní kostrová ochrana chrání transformátor proti přeskoce elektrického výboje na průchodkách nebo při přeskoce výboje na kostru transformátoru v případě proražení izolace vinutí. Princip ochrany je založen na umístění transformátoru na izolační podložku, přičemž se kostra vodivě spojí se zemí přes průvlekový PTP. Pokud dojde k zmiňovaným poruchovým stavům, mezi kóstrou transformátoru a zemí se vytvoří napětí, které vyvolá průchod proudu skrze PTP. Nadproudová ochrana, která je připojená na svorky PTP, poruchový stav zaregistruje a v případě nutnosti zapůsobí. Pro správnou funkci ochrany je nutné, aby průvlekovým PTP procházely i všechny pomocné obvody transformátoru, jako jsou napájecí obvody chlazení, osvětlení, ovládání odboček atd. Pokud by na těchto pomocných systémech došlo k poruše, je nežádoucí, aby to způsobilo úplné vypnutí transformátoru. Jestliže budou pomocné obvody průvlekovým transformátorem procházet a nastane na nich porucha, např. dojde-li ke kontaktu živé části s kóstrou transformátoru, tak oběma vodiči budou téct proudy opačné polarity a nadproudová ochrana nezareaguje. Tato situace je vyobrazena na obrázku č. 13, kde je naznačena porucha ventilátoru transformátoru. [4]



Obr. č. 13 – Porucha na pomocném obvodu transformátoru - ochrana je nečinná

2. 5. Zábleskové ochrany

Zábleskové ochrany jsou dnes již samozřejmostí při snaze o ochranu rozvaděčů a elektrických rozvodů vůbec. Jedná se o velmi rychlé ochrany, které chrání elektrické zařízení před účinky zkratu, konkrétně pak před účinky elektrického oblouku. Elektrický oblouk je charakteristický vysokou teplotou hoření, která může přesahovat i hodnotu 5000 K. Takto vysoká teplota může snadno způsobit destrukci elektrického zařízení ve velmi krátkém čase. Hoření oblouku v době 100 ms způsobuje hoření kabelů, v době 150 ms tavení mědi a při době hoření 200 ms dochází k tavení oceli. Je proto zřejmé, že obvod, ve kterém hoří elektrický oblouk, je nutné co nejrychleji vypnout. Zábleskové ochrany musejí reagovat do 50 ms.

Princip zábleskové ochrany je založen na další charakteristické vlastnosti oblouku, a sice na náhlém a intenzivním světelném vyzařování. Systém zábleskové ochrany je složen z monitoru oblouku a detektorů oblouku. Detektory reagují na prudkou změnu osvětlení a může jich být v rozvodně instalováno i několik desítek. Umisťují se do strategických míst, kde se očekává, že by mohlo ke vzniku oblouku dojít. Detektory bývají s monitorem spojeny optickými vlákny, čímž je zajištěna odolnost proti rušení a s tím tedy i vysoká spolehlivost, že ochrana zapůsobí pouze v žádoucím případě. Doplňkem moderních zábleskových ochran bývají jednotky, jež sledují změnu proudu. Takové zábleskové ochrany jsou odolné proti nežádoucímu vypnutí, které by mohlo být vyvoláno i jiným intenzivním světelným podnětem, než při hoření oblouku. Typickým příkladem je blesk fotoaparátu. Takto vybavené zábleskové ochrany dosahují téměř 100% spolehlivosti při detekci elektrického oblouku. [11]

2. 6. Logické systémy

Logický systém při ochraně přípojníc sdružuje ochrany jednotlivých vývodů rozvodny a získává od nich informace o jejich případném působení. Logický systém je pak na základě těchto informací chopen rozhodnout, zda se jedná o přípojnicový zkrat nebo zkrat vnější, a podle toho určit, zda má dojít k vypnutí a popřípadě jakým způsobem.

U nadproudových směrových ochran je logický systém schopen rozeznat přípojnicový zkrat podle směru toku proudů v jednotlivých vývodech. Každá nadproudová směrová ochrana poskytne logickému systému informaci o směru toku proudu v jejím vývodu. Pokud přípojnicový zkrat nastane, směr toku proudů ve všech vývodech bude směrem k přípojnicím. Pokud směr toku proudu bude alespoň v jednom vývodu ven z přípojnic, tak se jedná o zkrat vnější.

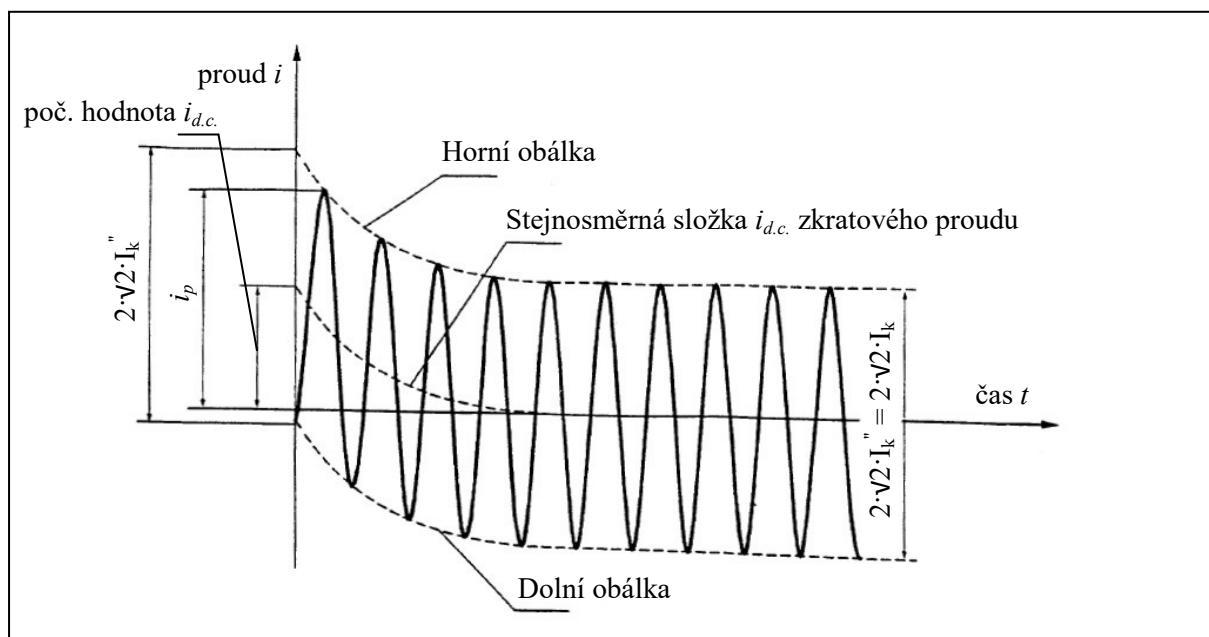
Logický systém tedy není přímo samostatná ochrana v takovém smyslu, jako jsou všechny ochrany, které byly doposud popsány. Jeho schopnost spolupracovat s několika ochranami mu však efektivně umožňuje činit správné kroky k zamezení poškození elektrického zařízení, na což by jedna samostatná ochrana nemusela sama stačit. [2]

3. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů

Výpočet zkratových proudů v elektrizační soustavě vychází z normy ČSN EN 60909-0, která pojednává o výpočtu zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách nízkého, vysokého, velmi vysokého a zvláště vysokého napětí o frekvenci 50 nebo 60 Hz. Soustavy s hladinou napětí vyšší než 550 kV vyžadují zvláštní postupy výpočtu, nicméně takové soustavy se na území České republiky nevyskytují a proto je bezpředmětné se jimi zabývat.

Kompletní výpočet zkratových proudů umožňuje určit proudy jako funkce času v místě zkratu od počátku zkratu až do jeho konce. Snaha o co nejpřesnější výpočet časového průběhu složitého přechodného děje, jako je zkrat v soustavě tvořené mnoha zdroji, přenosovými cestami a spotřebiči, vede k řešení pomocí diferenciálních rovnic. Takovýto postup je velmi složitý a až na výjimky se nepoužívá. V praktických případech totiž není potřeba znát přesné průběhy zkratových proudů ve všech případech, které mohou v soustavě nastat, ale pro provozovatelské či projektantské potřeby postačí provést zjednodušený výpočet vedoucí k vyčíslení mezních hodnot možných průběhů zkratových proudů, tedy k určení tzv. parametrů zkratového proudu. Mezi tyto parametry patří:

- I_k'' – počáteční souměrný rázový zkratový proud
- I_k – ustálený zkratový proud
- i_p – nárazový zkratový proud
- $i_{d.c.}$ – stejnosměrná složka zkratového proudu
- I_{th} – ekvivalentní oteplovací proud
- I_b – souměrný zkratový vypínací proud



Obr. č. 14 – Průběh zkratového proudu

Na předchozím obrázku č. 14 je k vidění průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou. Přítomná je také stejnosměrná složka. Na obrázku jsou k vidění některé výše vyjmenované parametry zkratového proudu. Výpočtem jsou pak nejčastěji hledány hodnoty efektivní střídavé souměrné složky a nárazového zkratového proudu po vzniku zkratu.

Před samotným výpočtem parametrů zkratových proudů je nutné si uvědomit, pro jaký účel bude výpočet proveden. Pokud za účelem nastavení elektrických ochran, tak je nutné zjistit minimální zkratový proud. Pokud za účelem dimenzování elektrického zařízení a proudovodných cest, tak je potřeba zjistit maximální možný zkratový proud. Oba případy mají své podmínky, se kterými se při výpočtu uvažuje, a zároveň je spojují zjednodušující předpoklady, aby výpočet bylo možné provést s přijatelnou matematickou náročností a zároveň s dostatečnou přesností. [13]

3. 1. Zjednodušující předpoklady při výpočtu zkratových proudů

Zjednodušení jsou volena tak, aby usnadnila výpočet a zároveň aby tím byl výsledek ovlivněn jen v akceptovatelné míře. Je nutné si také uvědomit, že ani při použití náročného matematického postupu bez zjednodušení nelze dosáhnout naprosto přesných výsledků, neboť už vstupní data nejsou zcela přesná. To je základní odůvodnění, proč tato zjednodušení zavádíme.

- Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu
- Po dobu trvání zkratu nedochází k žádné změně v síti
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze
- Uvažuje se kovový zkrat, tedy zanedbává se vliv elektrického oblouku
- Všechny kapacity vedení, paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbávány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě
- Synchronní stroje s vyniklými póly se modelují jako stroje s válcovým rotorem [13]

3. 2. Předpoklady při výpočtu minimálního zkratového proudu

Minimální zkratový proud je zapotřebí znát pro správné nastavení elektrických ochran. Jedná se o takovou hodnotu nadproudu, která je již vyvolaná v důsledku zkratu, a proto ji musí ochrana spolehlivě rozpoznat a vynutit vypnutí zkratem postiženého chráněného objektu. Při výpočtu se uvažují následující předpoklady: [13]

- Napětový součinitel soustavy c_{MIN} nabývá hodnoty dle tabulky č. 1
- Vybrat konfiguraci soustavy a minimální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k minimální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu
- Motory se zanedbávají
- Rezistance R vedení se uvažuje při nejvyšší dovolené teplotě, vypočtené dle vztahu:

$$R = R_{20} \cdot [1 + \alpha(\vartheta - 20^\circ\text{C})] \quad (\Omega) \quad (3.1)$$

Kde R_{20} je činný odpor vedení při teplotě 20°C , α je teplotní součinitel odporu, což je tabulková hodnota, a ϑ je nejvyšší uvažovaná dovolená teplota. [13]

3.3. Předpoklady při výpočtu maximálního zkratového proudu

S maximálním zkratovým proudem se uvažuje při dimenzování elektrických zařízení a proudovodných cest. Je potřeba znát, jak velkým proudům může elektrické zařízení a vedení být vystaveno a jakým dynamickým a tepelným účinkům může čelit a musí odolat. Při výpočtu se uvažují následující předpoklady, které jsou opačné než v případě výpočtu minimálních zkratových proudů.

- Napěťový součinitel soustavy c_{MAX} nabývá hodnoty dle tabulky č. 1
- Vybrat konfiguraci soustavy a maximální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu
- Uvažují se příspěvky motorů
- Rezistance R vedení se uvažuje při okolní teplotě 20 °C [13]

Tab. č. 1 – Napěťový součinitel c

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	maximálních zkratových proudů c_{MAX}	minimálních zkratových proudů c_{MIN}
Nízké napětí	1,05 ¹⁾ 1,10 ²⁾	0,95
Vysoké a velmi vysoké napětí	1,10	1,00
¹⁾ pro soustavy nízkého napětí s tolerancí $\pm 6 \%$		
²⁾ pro soustavy nízkého napětí s tolerancí $\pm 10 \%$		

3.4. Postup výpočtu

Pro výpočet zkratových proudů v trojfázových soustavách se využívá metoda souměrných složek, která výpočet zjednodušuje. Jejím principem je získání třech složek impedancí, a sice impedance sousledné $Z_{(1)}$, zpětné $Z_{(2)}$ a netočivé $Z_{(0)}$. Z těchto impedancí se posléze určují zkratové proudy. Pokud budeme uvažovat elektricky vzdálené zkraty, můžeme prohlásit, že hodnota sousledné impedance $Z_{(1)}$ se rovná hodnotě zpětné impedance $Z_{(2)}$. Elektricky vzdálený zkrat je zkrat, při kterém velikost sousledné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní. Netočivou složku impedance potřebujeme znát při výpočtech jednofázových zkratových proudů. Pokud počítáme zkratové proudy v soustavách VN, které bývají izolované nebo uzemněné přes velkou impedanci a nemůže tak nastat jednofázový zkrat, tak není nutno se netočivou impedancí zabývat.

Samotný postup při výpočtu zkratových proudů lze shrnout do čtyř kroků. Nejdříve se provádí sestavení náhradního schématu soustavy. U souměrných zkratů stačí náhradní schéma sousledné složky impedance, u nesouměrných zkratů je pak nutno počítat i s ostatními složkami impedance. V druhém kroku je na řadě vyčíslení impedancí všech prvků v náhradních schématech v ohmické hodnotě. Třetím krokem je postupné sérioparalelní sečtení všech prvků ve schématu tak, aby výsledkem byla jedna hodnota, představující impedanci souslednou, zpětnou a netočivou. Z těchto výsledných hodnot impedancí se na závěr provede výpočet zkratových proudů.

3. 5. Výpočet impedance prvků soustavy

Výpočet se dá provést ve fyzikálních nebo poměrných hodnotách. Obě metody mají své výhody i nevýhody. Výpočet ve fyzikálních jednotkách dává během výpočtu průběžnou představu o velikosti počtených veličin, nevýhodou však je, že je nutno přepočítávat prvky soustavy, které nejsou na stejné napěťové hladině jako místo zkratu. Tato komplikace při výpočtu v poměrných hodnotách nenastává, nicméně je nutno volit vztažný výkon. Tím se velikosti počítaných impedancí prvků mění, takže průběžné výsledky nejsou tak zjevné jako v případě výpočtu ve fyzikálních jednotkách. K výsledným zkratovým proudům je nutno se v případě výpočtu v poměrných hodnotách dopracovat přes výpočet vztažného proudu. Já si pro výpočet zkratových proudů vybral metodu výpočtu ve fyzikálních jednotkách. Pro výpočet impedancí jednotlivých prvků soustavy platí následující vztahy:

3. 5. 1. Sít'ové napáječe (nadřazená síť)

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{k3}''} \quad (\Omega) \quad (3.2)$$

$$\text{Zpětná složka:} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.3)$$

U_n - jmenovité sdružené napětí sítě

I_{k3}'' - počáteční souměrný rázový zkratový proud při trojfázovém zkratu

S_{k3}'' - zkratový výkon soustavy při trojfázovém zkratu

Pokud je soustava od místa zkratu oddělená transformátorem nebo se jedná o běžný výpočet, lze uvažovat, že souslednou složku impedance $Z_{(1)}$ tvoří pouze reaktance $X_{(1)}$.

3. 5. 2. Alternátory

$$\text{Reaktance:} \quad X_{(1)} = \frac{x_d'' \cdot U_{nG}^2}{100 \cdot S_{nG}} \quad (\Omega) \quad (3.4)$$

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)} = X_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.5)$$

$$\text{Zpětná složka:} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.6)$$

x_d'' - rázová reaktance alternátoru

U_{nG} - jmenovité napětí alternátoru

S_{nG} - jmenovitý zdánlivý výkon alternátoru

Činný odpor se zanedbává. Souslednou složku impedance $Z_{(1)}$ tedy tvoří pouze reaktance $X_{(1)}$. Synchronní kompenzátory a motory, které mají napěťovou regulaci, jsou modelovány stejným způsobem jako alternátory. Synchronní motory bez napěťové regulace vyžadují zvláštní postupy.

3. 5. 3. Dvouvinut'ové transformátory

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} \quad (\Omega) \quad (3.7)$$

$$\text{Zpětná složka:} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.8)$$

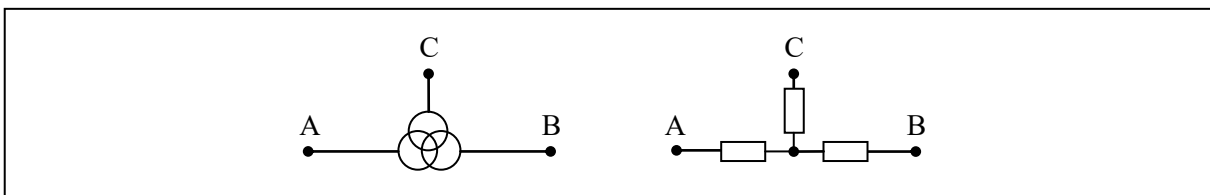
$$\text{Činný odpor:} \quad R_{(1)} = \frac{P_k \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} \quad (\Omega) \quad (3.9)$$

$$\text{Reaktance:} \quad X_{(1)} = \sqrt{Z_{(1)}^2 - R_{(1)}^2} \quad (\Omega) \quad (3.10)$$

- u_k - napětí transformátoru nakrátko
 U_{nT} - jmenovité napětí transformátoru
 S_{nT} - jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru
 P_k - jmenovitá ztráta transformátoru nakrátko

U velkých transformátorů je činný odpor tak malý, že se může zanedbat. Uvažuje se poté tedy, že sousledná složka impedance $Z_{(1)}$ je tvořena pouze reaktancí $X_{(1)}$. S činným odporem transformátoru je ale doporučeno počítat u transformátorů VN/NN nebo jestliže je předmětem výpočtu nárazový zkratový proud i_p nebo stejnosměrná složka $i_{d.c.}$.

3. 5. 4. Trojvinut'ové transformátory



Obr. č. 15 – Výpočet trojvinut'ového transformátoru

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)AB} = \frac{u_{kAB} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAB}} \quad (\Omega) \quad (3.11)$$

$$Z_{(1)AC} = \frac{u_{kAC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTAC}} \quad (\Omega) \quad (3.12)$$

$$Z_{(1)BC} = \frac{u_{kBC} \cdot U_{nTA}^2}{100 \cdot S_{nTBC}} \quad (\Omega) \quad (3.13)$$

$$Z_{(1)A} = \frac{1}{2} \cdot (Z_{(1)AB} + Z_{(1)AC} - Z_{(1)BC}) \quad (\Omega) \quad (3.14)$$

$$Z_{(1)B} = \frac{1}{2} \cdot (Z_{(1)AB} + Z_{(1)BC} - Z_{(1)AC}) \quad (\Omega) \quad (3.15)$$

$$Z_{(1)C} = \frac{1}{2} \cdot (Z_{(1)AC} + Z_{(1)BC} - Z_{(1)AB}) \quad (\Omega) \quad (3.16)$$

$$\text{Zpětná složka:} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.17)$$

u_{kAB} - jmenovité napětí nakrátko mezi stranami A a B

U_{nTA} - jmenovité napětí na straně A

S_{nTAB} - jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru mezi stranami A a B

3. 5. 5. Asynchronní motory

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)} = \frac{1}{i_z} \cdot \frac{U_{nAM}^2}{S_{nAM}} \quad (\Omega) \quad (3.17)$$

$$\text{Zpětná složka:} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.18)$$

i_z - poměrný záběrný proud motoru

U_{nAM} - jmenovité napětí asynchronního motoru

S_{nAM} - jmenovitý zdánlivý výkon asynchronního motoru

3. 5. 6. Reaktory

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)} = \frac{10 \cdot u_R \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n} \quad (\Omega) \quad (3.19)$$

$$\text{Zpětná složka:} \quad Z_{(2)} = Z_{(1)} \quad (\Omega) \quad (3.20)$$

u_R - impedanční napětí reaktoru

U_n - jmenovité napětí reaktoru

I_n - jmenovitý proud reaktoru

Pro reaktor platí, že $X_R \gg R_R$, z čehož vyplývá, že $Z_{(1)} = X_{(1)}$.

3. 5. 7. Venkovní a kabelová vedení

$$\text{Sousledná složka:} \quad Z_{(1)} = \sqrt{R_{(1)}^2 + X_{(1)}^2} \quad (\Omega) \quad (3.21)$$

$$\text{Činný odpor:} \quad R_{(1)} = R_k \cdot l \quad (\Omega) \quad (3.22)$$

$$\text{Reaktance:} \quad X_{(1)} = X_k \cdot l \quad (\Omega) \quad (3.23)$$

R_k - činný odpor vedení, kabelu na kilometr délky

X_k - reaktance vedení, kabelu na kilometr délky

l - délka vedení, kabelu

Pro venkovní a kabelové vedení platí, že $R_{(2)} = R_{(1)}$ a $X_{(2)} = X_{(1)}$.

Při výpočtu je nutné přepočíst impedanci zařízení Z_1 , která je na rozdílné napěťové hladině U_1 , na napěťovou hladinu U_2 , na které se nachází místo zkratu. Pro přepočtenou impedanci Z_2 poté platí:

$$Z_2 = Z_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (\Omega) \quad (3.24)$$

3. 6. Výpočet zkratových proudů

3. 6. 1. Počáteční souměrný rázový zkratový proud

Jedná se o efektivní hodnotu střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu. Značí se I_k'' . [7]

$$\text{Trojfázový zkratový proud: } I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_{(1)}|} \text{ (kA; -, kV, } \Omega) \quad (3.25)$$

$$\text{Dvoufázový zkratový proud: } I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)}|} \text{ (kA; -, kV, } \Omega) \quad (3.26)$$

$$\text{Jednofázový zkratový proud: } I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}|} \text{ (kA; -, kV, } \Omega) \quad (3.27)$$

- c - napěťový součinitel
- U_n - jmenovité napětí
- $Z_{(1)}$ - výsledná sousledná impedance zkratového obvodu
- $Z_{(2)}$ - výsledná zpětná impedance zkratového obvodu
- $Z_{(0)}$ - výsledná netočivá nulová impedance zkratového obvodu

3. 6. 2. Nárazový zkratový proud

Nárazový zkratový proud představuje nejvyšší možnou vrcholovou hodnotu předpokládaného zkratového proudu, která nastává při maximální hodnotě stejnosměrné složky. Značí se i_p a je důležitý zejména při dimenzování zařízení, neboť je zařízení v ten moment vystaveno největším dynamickým silám, které způsobují jeho značné mechanické namáhání. [7]

$$i_p = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_k'' \quad (3.28)$$

Kde κ je součinitel nárazového zkratového proudu. Vypočítává se z následujícího vztahu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} \quad (3.29)$$

3. 6. 3. Ekvivalentní oteplovací proud

Jedná se o efektivní hodnotu fiktivního proudu sinusového průběhu s konstantní amplitudou, jenž za dobu zkratu vyvine stejné množství tepla jako předpokládaný zkratový proud s největší možnou stejnosměrnou složkou. Značí se I_{th} . [7]

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad (3.30)$$

- m - součinitel pro tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu
- n - součinitel pro tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu

Oba součinitele lze odečíst z grafů, které jsou součástí normy ČSN EN 60909-0.

4. Popis rozvodny 110/22 kV Kojetín

Transformovna 110/22 kV Kojetín je situována na jižním okraji města Kojetín, poblíž místní komunikace směr Kroměříž. Jejím nynějším účelem je napájení jižní části okresu Přerov a průmyslových objektů v Kojetíně. Transformovna byla postavena v roce 1973 a jejím nynějším vlastníkem a provozovatelem je společnost ČEZ Distribuce.

Rozvodna Kojetín je napájena přírodním venkovním vedením 110 kV z Dluhonic - Chropyně. Samotné 110kV rozvodné pole je jednosystémové a je umístěno venku, vně hlavní budovy. Tam je také umístěn hlavní transformátor 110/22 kV. Venkovní prostor má rozlohovou rezervu, takže v případě navýšení odběru je možnost v budoucnu vybavit transformovnu druhým transformátorem. Hlavní budova je dvoupatrová. Ve spodním patře je prostor vývodů vedení 22 kV, akumulátorovna a sklad hasicích přístrojů. V horním patře se nalézá rozvodna 22 kV, prostor vlastní spotřeby, velín a revizní místnost. Rozvodna 22 kV je řešena jednosystémovým skříňovým provedením o rozsahu dvacet polí a s jednou podélnou spojkou přípojníc. Všechny pohony spínacích přístrojů jsou elektrické, proto v rozvodně není přítomna obvyklá kompresorová stanice.

Rozvodna je provozována bez trvalé obsluhy, je ovládána dálkově pomocí řídicího systému z dispečinku v Ostravě. Ovládání je možné i z velína rozvodny přes totožný řídicí systém nebo v některých případech i místě z řídicí skříně nebo přímo na pohonech, přičemž při tomto ovládání musí být místním přepínačem znemožněno dálkové ovládání.

4.1. Rozvodná část 110 kV

Rozvodna je napájena odbočkou z vedení č. 551, které spojuje Dluhonice a Chropyni. Rozvodné pole 110 kV je označeno AEA01 a rozhraní s 22kV rozvodnou tvoří transformátor označený T101. Provozní parametry rozvodného pole 110 kV jsou uvedeny v následující tabulce č. 2.

Tab. č. 2 – Provozní parametry rozvodny 110 kV

Soustava	3x AC 50 Hz, 110 kV/TT
Jmenovité napětí	110 kV
Nejvyšší provozní napětí	123 kV
Jmenovitý proud přípojníc	150 A (dle prim. proudu PTP)
Zkratová odolnost	3 500 MVA
Jmenovitý dynamický proud	18,4 kA

Samotné přístrojové vybavení (viz. tab. č. 3) je zobrazeno na jednopólovém schématu, které je k nahlédnutí v přílohách. Prvním prvkem je kombinace odpojovače QV a zemnicích nožů QU. Oba tyto prvky slouží pro případnou práci na zařízení. Odpojovač slouží k viditelnému rozpojení vedení, což je výhodné pro snadnou informovanost techniků o stavu odpojení zařízení. Zemnicí nože slouží pro bezpečnou práci na odpojeném zařízení, aby například nedošlo k úrazu elektrickým proudem vlivem naindukovaného napětí. Pohon obou přístrojů je zajištěn elektrickým motorem. Svodiče přepětí FV jsou určeny ke svedení případného přepětí do země, které by jinak mohlo, například při úderu

blesku do vedení, poškodit transformátor. Důležitou součástí je výkonový vypínač, jehož účelem je v případě potřeby odpojit transformátor T101 od sítě 110 kV. Vypínač je vyroben firmou Siemens, jeho jmenovitý proud je 3150 A a pohon má hydraulicko-elektrický. Měření je zajištěno prostřednictvím PTP a PTN, které jsou vyrobeny firmou Emil Pfißner. Proud je měřen v každé fázi, takže celkově jsou umístěny tři PTP, s převodem 150/5 A. Napětí je měřeno s převodem 110/0,1 kV.

Tab. č. 3 – Přístrojové vybavení rozvodného pole 110 kV

Přístroj	Označení	Technické informace
Uzemňovač	QU	SERW, typ SHTU1 - 1220, 2000 A
Odpojovač	QV	SERW, typ SHTU1 - 1220, 2000 A
Vypínač	QM	Siemens, 3AQ1EG
PTN	TV	EMIL PFIFFNER, typ EOF123
PTP	TA	EMIL PFIFFNER, typ JOF123
Svodič přepětí	FV	SB 102/10.2

4. 2. Transformace 110/22 kV

Transformace napětí je zajištěna transformátorem T101 o výkonu 25 MVA, jehož výrobcem je společnost Škoda. Stanoviště transformátoru je venkovní, nezastřešené, dispozičně navazuje na pole rozvodny 110 kV. Transformátor je olejový, chlazen ventilátory a je vybaven vlastní záchytnou jímkou oleje. Jedná se o transformátor, který disponuje automatickou regulací napětí, jež je zajištěna regulátorem napětí typu REG-D, jehož výrobcem je společnost Eberle.

Primární napojení z pole AEA01 rozvodny 110 kV na průchodky transformátoru je realizováno lany AlFe 250. Vyvedení výkonu transformátoru do rozvodny 22 kV je provedeno třemi paralelními kabely typu 22-AXEKCEY 1x240 mm² na každou fázi. Transformátor je z obou stran chráněn svodiči přepětí, z primární strany již zmiňovaným SB 102/10.2 a ze sekundární strany ABB MWR24/10. Nulový bod sekundární strany transformátoru je kabelem 22-AXEKCEY 1x70 mm² přiveden na odpojovač zhášecí tlumivky. Tlumivka má jalový výkon 1500 kVAr a jejím účelem je kompenzace sítě 22 kV. Parametry transformátoru jsou uvedeny v následující tabulce č. 4.

Tab. č. 4 – Parametry transformátoru 110/22 kV

Typ transformátoru	9ER 31 M-0 Škoda
Jmenovitý převod	110±8x2%/23/(6,3) kV
Jmenovitý výkon	25 MVA
Typ regulace	pod zatížením, MR Reinhausen
Napětí nakrátko	10,62 %

Stanice je dále vybavena dvěma menšími transformátory pro vlastní spotřebu. Výkon každého transformátoru je 160 kVA při převodu 22/0,4 kV. Transformátory jsou taktéž umístěny venku a jsou nekryté. Každý transformátor má svou vlastní záchytnou jímku a všechny transformátory, včetně T101, jsou napojeny na stejnou havarijní jímku. Označení transformátorů vlastní spotřeby je TVS1 a TVS2. Vysokonapěťové připojení transformátorů vlastní spotřeby je zprostředkováno třemi

jednožilovými kabely 22-ACEKCEY 1x70 mm², sekundární vývody do přírodních polí rozvaděče NN vlastní spotřeby jsou pak vedeny kabely AYKY 3x240/120 mm².

4.3. Rozvodná část 22 kV

Vnitřní rozvodna 22 kV je jednosystémová bez pomocné přípojnice. Je rozdělena na dvacet polí, přičemž je uprostřed podélně dělená. Pole jsou značeny AVA01 (1r5) až AVA20 (20r5). Rozvodna se skládá z 18 ks výsuvných skříní. Pole č. 1 a pole č. 20 jsou stavební rezervy bez přístrojového vybavení. Transformátor T101 je přiveden v poli č. 6. V případě výpadku napájení rozvodny vedením 110 kV, přichází na řadu záložní napájení vedením 22 kV z Dluhonic. Jednopolové schéma rozvodny 22 kV je dostupné v přílohách. Provozní parametry jsou uvedeny tabulce č. 5.

Tab. č. 5 – Provozní parametry rozvodny 22 kV

Soustava	3x AC 50 Hz, 22 kV/IT
Jmenovité napětí	22 kV
Nejvyšší provozní napětí	25 kV
Jmenovitý proud přípojníc	1000 A
Jmenovitý proud přívodů	600 A
Jmenovitý proud vývodů	150 - 600 A (dle prim. proudu PTP)
Zkratová odolnost	381 MVA
Jmenovitý dynamický proud	10 kA

V další tabulce č. 6 je vyznačeno všech dvacet polí v rozvodně, přičemž u každého pole je uveden jeho účel. Pole mohou být vývodová, v takovém případě je uvedeno označení vývodového vedení, přívodní, momentálně je takové pouze jedno – pro transformátor T101, měřicí, kde se měří napětí na přípojnicích, spojovací a rezervní. Rezerva může být vývodová, kde je pole vybaveno přístroji, nicméně v normálním aktuálním provozním stavu nemá využití, nebo stavební. Stavební rezerva není přístroji vybavena, takže není momentálně vůbec schopna použití. Dvě pole jsou určena pro transformátory vlastní spotřeby stanice.

Tab. č. 6 – Účel jednotlivých polí v rozvodně 22 kV

Pole	Účel pole	Pole	Účel pole
AVA 01 (1r5)	Nevybavená stavební rezerva	AVA 11 (11r5)	Podélná spojka přípojníc
AVA 02 (2r5)	Vývod - VN106	AVA 12 (12r5)	Vývod - VN297
AVA 03 (3r5)	Vývod - rezerva	AVA 13 (13r5)	Vývod - VN111
AVA 04 (4r5)	Vývod - VN295	AVA 14 (14r5)	Vývod - transformátor TVS2
AVA 05 (5r5)	Měření	AVA 15 (15r5)	Rezerva pro transformátor
AVA 06 (6r5)	Přívod - transformátor T101	AVA 16 (16r5)	Měření
AVA 07 (7r5)	Vývod - transformátor TVS1	AVA 17 (17r5)	Vývod - VN12
AVA 08 (8r5)	Vývod - VN332	AVA 18 (18r5)	Vývod - rezerva
AVA 09 (9r5)	Vývod - VN296	AVA 19 (19r5)	Vývod - VN1104
AVA 10 (10r5)	Podélná spojka přípojníc	AVA 20 (20r5)	Nevybavená stavební rezerva

4.3.1. Přístrojové vybavení jednotlivých polí

V této podkapitole lze naléznout soupis přístrojového vybavení, které obsahují jednotlivá pole rozvodu 22 kV. Pro snazší přehled je v tabulce č. 7 křížkem uvedeno, jaké přístroje které pole obsahuje, a dle příslušného indexu lze v tabulce č. 8 zjistit typ a parametry konkrétního přístroje.

Tab. č. 7 – Přístrojové vybavení jednotlivých polí v rozvodně 22 kV

Pole	QM	TA1	TA2	TV1	FV1	FU1
AVA 01 (1r5)						
AVA 02 (2r5)	x ¹	x ¹	x	x ¹	x	
AVA 03 (3r5)	x ²	x ²				
AVA 04 (4r5)	x ²	x ¹	x		x	
AVA 05 (5r5)				x ²		x
AVA 06 (6r5)	x ²	x ⁴		x ¹	x	
AVA 07 (7r5)						x
AVA 08 (8r5)	x ²	x ²	x			
AVA 09 (9r5)	x ²	x ¹	x		x	
AVA 10 (10r5)	x ²					

Pole	QM	TA1	TA2	TV1	FV1	FU1
AVA 11 (11r5)		x ⁵				x
AVA 12 (12r5)	x ¹	x ¹	x		x	
AVA 13 (13r5)	x ²	x ²	x			
AVA 14 (14r5)						x
AVA 15 (15r5)	x ²	x ³		x ¹		
AVA 16 (16r5)				x ²		x
AVA 17 (17r5)	x ²	x ³			x	
AVA 18 (18r5)	x ²	x ²				
AVA 19 (19r5)	x ¹	x ¹		x ³		
AVA 20 (20r5)						

Tab. č. 8 – Typy a parametry přístrojů v rozvodně 22 kV

Označení	Přístroj	var.	Výrobce, typ
QM	Vypínač	1	ABB VF 25, 1250 A
		2	EJF HL 6-9, 1250 A
TA1	PTP	1	EJF PR 25A1 300/5 A
		2	EJF PR 25B1 150/5 A
		3	EJF PR 25B1 300/5 A
		4	EJF PR 25B1 600/5 A
		5	EJF BS 22 600/5 A
TA2	součtový PTP	x	ABB BZ 00-16
TV1	PTN	1	EJF D225, 22/0,1 kV
		2	EJF J223 22/√3/0,1 kV
		3	EJF TDP6 22/0,1 kV
FV1	svodič přepětí	x	ABB, typ MWK24
FU	pojistky	x	výkonové, OEZ, 10 A

4.4. Ochrany rozvodny

Předmětem chránění v rozvodně Kojetín je zejména transformátor T101 a rozvodna 22 kV. Rozvodna byla uvedena do provozu v roce 1974, kdy byla vybavena mj. také ochranami. Některé z těchto původních ochran pracovaly až do dnešních dnů, nicméně jejich elektromechanické provedení už dnešním nárokům, zejména pak spolehlivosti, nevyhovovalo. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o modernizaci rozvodny, která má přinést nové ochrany pro transformátor, rozvodnu 22 kV a uvést do provozu nový řídicí systém nahrazující již zastaralý systém A96. Od modernizace se očekává, že díky ní opět vzroste spolehlivost rozvodny na požadovanou úroveň, která je dána dnešním standardem.

4. 4. 1. Stav ochrany před modernizací rozvodny

Transformátor mimo své vlastní ochrany od výrobce byl doposud chráněn následně: rozdílovou ochranou Siemens 7UT512, kombinovanou nadproudovou ochranou ABB SPAJ 140C a napěťovou ochranou Areva P921. Tyto ochrany neumožňují dálkový dohled a tak i proto bylo rozhodnuto o jejich výměně.

U rozvodu 22 kV je nynější stav ochrany následující. Všechny vývodové pole tzn. pole č. 2, 4, 8, 9, 12, 13, 17 a 19 a spojovací pole č. 10 jsou chráněny nadproudovými nezávislými ochranami AT31X. Proti zkratu jsou všechna vývodová pole chráněna zkratovými ochranami A32. Vybraná vývodová pole č. 2, 9 a 12 disponují automatikami OZ, které jsou zprostředkovávány pomocí relé opětného zapínání OZ 33X. Všechny tyto ochrany byly dosud umístěny v NN skříních VN rozvaděčů a v případě zaznamenání poruchy reagovaly působením na vypínač v odpovídajícím poli. Ve všech případech se jedná o ochrany elektromechanické, jejich spolehlivost již byla klasifikována jako nedostatečná, a z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o jejich výměně za ochrany digitální.

V rozvodu 22 kV jsou dále také užívány ochrany zemní směrové a zábleskové. Zemní směrové ochrany Pro&Con RY0, chránící všechna vývodová pole rozvodu před zemním spojením, sice pracovaly spolehlivě, nicméně budou vyřazeny díky multifunkčnosti nových nadproudových ochrany. U zábleskových ochrany je situace taková, že sice není nutno měnit jejich čidla, avšak bylo rozhodnuto o výměně jejich působících relé za nové. Funkce zábleskových ochrany zůstane zachována, jako byla doposud. Pokud zábleskové ochrany zaznamenají poruchu v polích č. 2 až č. 9, tak dojde k vypnutí všech vypínačů těchto polí, podélného spínače přípojnic a vypínače transformátoru ze strany 110 kV. Pokud zapůsobí čidla v oblasti spínače přípojnic, tedy v polích č. 10 a 11, dojde k odpojení všech vývodů rozvodny včetně transformátoru. Pokud dojde k zapůsobení čidla v polích č. 12 až 19, dojde k vypnutí vypínačů těchto polí a vypnutí podélného spínače přípojnic.

4. 4. 2. Modernizace ochrany v rozvodně

Nové ochrany pro transformátor 110/22 kV byly zvoleny dle aktuálního standardu společnosti ČEZ. Terminál pole transformátoru bude osazen novou multifunkční ochranou Siprotec 7SJ6365 od společnosti Siemens. Jako rozdílová ochrana bude sloužit 7UT612 od stejného výrobce.

Pro chránění rozvodných polí 22 kV byly vybrány taktéž produkty společnosti Siemens. Nejhojněji zastoupeným typem bude multifunkční ochrana 7SJ6326. Ochrana bude použita u všech osmi vývodových polí, u polí vybavených rezerv a u obou polí pro transformátory vlastní spotřeby. Pro pole č. 10, kde se nachází podélná spojka přípojnic, je zvolena ochrana typu 7SJ6425. V terminálech pro pole měření bude umístěna ochrana 7SJ8041.

V rámci modernizace bude instalován i nový řídicí systém SICAM PAS a bude doplněna logická ochrana. Systém bude komunikovat se všemi ochranami, terminály a regulátory optickými linkami, což zvyšuje úroveň spolehlivosti. Modernizace řídicího systému bude přinášet také obměnu výpočetní techniky. Na místě bude také četná výměna kabeláže.

5. Popis nových ochran navržených pro rozvodnu Kojetín

Plánovaná modernizace rozvodny po stránce ochran přinese mnoho změn. Staré ochrany, které sloužily mnoho let, již byly shledány za buďto nespolehlivé, kvůli elektromagnetické konstrukci, nebo nevhodné, kvůli absenci některých funkcí. Tyto ochrany budou odstraněny a nahradí je ochrany nové, digitální. Dojde k modernizaci celého řídicího systému, což je umožněno právě nasazením těchto nových ochran, které jsou schopny pracovat s protokolem IEC 61850. Ochrany budou komunikovat optickým způsobem předávání informací, což je obecně vnímáno jako velmi spolehlivý způsob přenosu dat. K novému řídicímu systému SICAM PAS budou ochrany a terminály připojeny dvojitou optickou smyčkou. Schéma optického propojení ochran je k dispozici v přílohách. Řídicí systém bude umožňovat dálkový dohled ochran, což dosud nebylo možné. Vážným nedostatkem byla také skutečnost, že v rozvodu 22 kV chyběly směrové ochrany, což způsobovalo komplikaci v případě záložního napájení rozvodny z Dluhonic vedením 22 kV. Všechny tyto nedostatky budou odstraněny plánovanou modernizací ochran a řídicího systému.

Konečný konkrétní typový výběr nových ochran, jak již bylo zmíněno v minulé kapitole, je uveden v následující tabulce č. 9 včetně potřebného množství:

Tab. č. 9 – Soupis nově navržených ochran

Ochrana	Předmět chránění / umístění	Výrobce	Typ ochrany	Počet
rozdílová	transformátor	Siemens	7UT612	1 ks
multifunkční, nadproudová	transformátor	Siemens	7SJ6365	1 ks
multifunkční, nadproudová	rozvod 22 kV, vývody, rezervy, TVS	Siemens	7SJ6326	13 ks
multifunkční, nadproudová	rozvod 22 kV, dělení přípojníc	Siemens	7SJ6425	1 ks
nadproudová	rozvod 22 kV, pole měření	Siemens	7SJ8041	2 ks
vysokonapěťová ovládací jednotka	rozvod 22 kV, terminál tlumivky	Siemens	6MD66x	1 ks

5.1. Rozdílová ochrana Siprotec 7UT612

Digitální rozdílová ochrana 7UT612 je selektivní zkratová ochrana pro transformátory všech napěťových úrovní. Lze ji využít také při chránění točivých strojů, tlumivek, krátkých vedení nebo přípojníc se dvěma vývody. Je vybavena výkonným 32-bitovým mikroprocesorovým systémem, který umožňuje úplné digitální zpracování měřených hodnot a ovládání. Ochranu je možné obsluhovat přes ovládací a zobrazovací panel nebo pomocí připojeného počítače.

Ochrana bývá připojena k sadě PTP na primární a sekundární straně transformátoru, který zároveň může mít různé způsoby zapojení vinutí. Ochrana 7UT612 je schopna sled fází a zapojení vinutí zohlednit výpočtem a není nutno přizpůsobovat zapojení PTP zapojení transformátoru, jak to je uvedeno v kapitole 2.4.1. V téže kapitole je taky psáno o problematice při spínání transformátoru, které bývá obvykle doprovázeno rázem magnetizačního proudu. Ochrana je vybavena stabilizací proti tomuto zapínacímu rázu, jež pracuje na zmiňovaném principu filtru na 2. harmonickou. Díky tomu se nestane, že by ochrana nežádoucně vybavila při spínání transformátoru. Rozdílová ochrana je hlavní funkcí přístroje 7UT612, nicméně umí zastat i jiné úlohy.

Ochrana disponuje citlivým měřicím vstupem, jenž je schopen detekovat průsakový proud mezi nádobou a zemí, čímž je tedy schopen odhalit vysokoohmické zemní poruchy. Může tak zastat roli nádobové ochrany. Zemnění nulového bodu transformátoru ochrana zohledňuje automaticky. U ochrany 7UT612 je k dispozici také záložní nadproudová ochrana, která umí zaregistrovat i přetížení chráněného stroje. Dále pak ještě ochrana dovoluje detekci nesymetrických proudů, takže mohou být rozpoznány výpadky fází, nesymetrické zátěže a nebezpečná zpětná složka proudů. Při vydání vypínacího povelu ochrana kontroluje vypínač, zda bylo vypnutí provedeno.

Ochrana na čelním displeji zobrazuje měřené hodnoty, do paměti si ukládá posledních 8 poruch v síti, vytváří si vlastní statistiku vypínání a protokolaci zkratových údajů.

5. 2. Multifunkční ochrana Siprotec 7SJ62/63/64

Jedná se o digitální multifunkční ochranu, jejímž primárním určením je chránění, řízení a monitorování vývodů z přípojníc. Hodí se k nasazení pro ochranu sítí uzemněných, izolovaných, kompenzovaných či zemněných přes nízký odpor. Použití nalézá u jednostranně napájených radiálních sítí, u otevřených či uzavřených kruhových sítí a také u oboustranně napájených sítí. Ochrana se používá v rozvodnách s jednoduchými i dvojitými přípojnícemi, její využití je tedy velmi univerzální.

Základní funkcí přístroje tohoto typu je nesměrová nadproudová ochrana, která obsahuje dva proudově nezávislé stupně (nadproudový a zkratový) a jeden proudově závislý stupeň, pro který je dostupná řada charakteristik různých standardů. Je možno použít charakteristiku, kterou si definuje sám uživatel. Ochrana může sloužit i jako směrová nadproudová časová ochrana. Tato funkce je vyžadována, když pro dosažení potřebné selektivity nestačí pouze nadproudové kritérium, ale také kritérium směru toku proudu k místu poruchy. Další funkcí, kterou přístroj 7SJ62/63/64 disponuje, je AOZ. Tato funkce bude u vývodů v rozvodně Kojetín využívána, neboť staré AOZ byly vyřazeny. AOZ v přístroji může být v případě potřeby řízená i jinou ochranou, za podmínky, že spolu obě ochrany budou komunikovat. Pokud by to bylo nutné, je možné opětovné zapínání provádět ve spolupráci se synchronizační funkcí nebo vnější synchronizací.

Mimo základní funkce nadproudové ochrany přístroj 7SJ62/63/64 umožňuje celou řadu dalších funkcí, které zastoupí různé typy ochran. Umí pracovat jako ochrana napěťová, umožňuje tedy

chránění elektrického zařízení před podpětím a přepětím. Dá se také využít jako ochrana proti přetížení, nesymetrii nebo ochrana frekvenční. Využití tato ochrana nalézá také u točivých strojů, je vhodná pro chránění asynchronních strojů všech velikostí. Dá se také použít jako časově odstupňovaná záložní ochrana všech typů rozdílových ochran vedení, transformátorů, generátorů, motorů a přípojníc.

Pro komunikaci s vnějším řídicím, ovládacím, a monitorovacím systémem jsou k dispozici sériová rozhraní pro komunikaci s počítačem. Pomocí vhodného softwaru může být ochrana ovládána a konfigurována. S řídicím systémem ochrana může komunikovat datovým nebo optickým vedením.

5. 3. Nadproudová ochrana Siprotec 7SJ80

Tato digitální ochrana je podobná předešlé ochraně 7SJ62/63/64. Ochrana 7SJ80 je také primárně určená k chránění, řízení a monitorování přípojníc. Její hlavní funkcí je nesměrová nadproudová ochrana. Přístroj 7SJ80 však také může obdobně jako 7SJ62/63/64 sloužit jako směrová nadproudová ochrana, lze ji využít jako AOZ či jako ochranu napětíovou, ochranu proti přetížení, ochranu proti nesymetrii nebo jako ochranu frekvenční. Hlavní rozdíl ochrany 7SJ80 oproti ochraně 7SJ62/63/64 je však v menších rozměrech a nižší ceně.

V rozvodně Kojetín budou tyto ochrany osazeny v polích měření, kde budou měřit pouze napětí. Právě z důvodu, že zde nebudou monitorovány proudy, dostala tato kompaktnější ochrana přednost před typem 7SJ62/63/64.

5. 4. Vysokonapět'ová ovládací jednotka pole 6MD66x

Vysokonapět'ové ovládací jednotky pole 6MD66x jsou integrovanou součástí automatizačního systému SICAM. Přístroj slouží především pro ovládání, měření a monitorování. Dá se snadno obsluhovat prostřednictvím ovládacího a zobrazovacího panelu nebo pomocí počítače, přičemž je vybaven ochranou proti chybné manipulaci. Povel a hlášení přístroje jsou přizpůsobeny požadavkům VN techniky. Přístroj na čelní straně zobrazuje trvale měřené a vypočítávané hodnoty. Ovládací jednotka může při zapínání vypínače zkoušet, jestli jsou splněny synchronizační podmínky obou částí sítě. Přístroj je schopen rozlišit synchronní a asynchronní síť a při zapínání reaguje rozdílně.

6. Výpočet zkratových poměrů na vývodech z rozvodny

Pro řádné nastavení ochran v rozvodně 22 kV je nutno stanovit minimální i maximální zkratové proudy v jednotlivých vývodech rozvodny. Minimální zkratový proud je nutno zjistit pro nastavení zkratového stupně nadproudové ochrany a maximální zkratový proud je nezbytný pro výpočet maximálního vypínacího času, do kterého musí ochrana při zkratu vedení spolehlivě odpojit, aby nedošlo k jeho poškození.

Rozvodna má celkem 8 VN vývodů, přičemž zkratové poměry se počítají pro každý vývod zvlášť. Vývodové VN linky jsou provozovány zásadně paprskovitě. Některé z nich jsou v určitých místech propojeny, nicméně v normálním stavu jsou tyto spoje vždy rozpojené. Všechna vedení jsou jednostranně napájena z rozvodny Kojetín, avšak v mnoha případech jsou k vedení připojeny malé místní výrobní elektrické energie, nejčastěji se pak jedná o OZE. Tyto zdroje se promítnou do výpočtu maximálních zkratových proudů, neboť navyšují celkový poruchový proud, proto se při výpočtu nesmí opomenout.

6. 1. Předpoklady pro výpočet

Výpočty zkratových proudů jsou založeny na teoretickém rozboru v kapitole 3. Jedná se o kompenzovanou síť, takže bude uvažována pouze sousledná a zpětná složka reaktance. Zpětná složka reaktance bude ve zdejších výpočtech vždy rovna sousledné složce reaktance. Při výpočtu minimálního zkratového proudu je uvažován dvoufázový zkrat. Při výpočtu maximálního zkratového proudu je uvažován třífázový zkrat. U výpočtu vypínacího času na konci úseku vedení je vždy počítáno s maximálním zkratovým proudem na začátku počítaného úseku. To znamená, že je tedy uvažován maximální zkratový proud na konci předchozího úseku.

Jelikož jsou zkratové poměry počítány pro každý úsek vedení, bylo by velmi rozsáhlé v této práci uvádět všechny výpočty. Podrobné výsledky pro všech osm vedení jsou proto uvedeny v příslušných tabulkách, přičemž jedno vedení, konkrétně VN106, je řešeno jako vzorový příklad.

Ještě před samotným výpočtem je nutno uvést některé předpoklady, ze kterých pak počty vychází. Je tím změna reaktance napájecí soustavy 110 kV vlivem možnosti jejího různého propojení, způsob zjednodušeného počítání náhradní reaktance malých zdrojů a realizace napájení rozvodny při výpadku sítě 110 kV.

6. 1. 1. Vliv napájecí soustavy 110 kV

Rozvodna Kojetín je napájena soustavou 110 kV. Tato soustava může být různě propojena, což se projeví ve velikosti zkratového výkonu, který je soustava schopna dodat na práh rozvodny. Při výpočtu minimálních zkratových proudů se uvažuje takové propojení 110kV soustavy, kdy je soustava schopna dodat nejmenší možný zkratový výkon. Při výpočtu maximálních zkratových proudů se počítá naopak s maximálním možným zkratovým výkonem. Oba tyto mezní zkratové výkony jsou hodnoty, které jsou dostupné v technické dokumentaci rozvodny.

6. 1. 2. Vliv malých lokálních zdrojů

Ve většině případů se jedná o fotovoltaické elektrárny, které někdy disponují poměrně vysokým výkonem v řádech jednotek MW. Fotovoltaická elektrárna se od běžného zdroje elektřiny s točivým generátorem liší tím, že při zkratech dodává do sítě stále pouze jmenovitou hodnotu proudu. Reaktance takového zdroje se poté proto počítá obdobně jako u soustavy:

$$x_{FVE} = \frac{c \cdot U_n^2}{P_{FVE}} \quad (6.1)$$

K síti 22 kV jsou připojeny také zdroje s točivým generátorem. Takové elektrárny jsou buďto bioplynové, poháněné spalovacími motory, vodní nebo parní. Parní elektrárna o výkonu 1,6 MVA je v provozu v jednom lihovaru, který rozvodna napájí. Každý z těchto zdrojů je k síti 22 kV připojen přes transformátor. Při výpočtu reaktancí je tedy nutno zohlednit jak reaktanci generátoru, tak i transformátoru. V praxi se uvažuje, že výkon transformátoru je shodný s výkonem generátoru, takže jejich výsledná reaktance je dána vztahem:

$$x_{G+T} = \frac{x_d'' + u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_G} \quad (6.2)$$

Dále se v praxi uvažuje, že součet synchronní reaktance generátoru a napětí transformátoru nakrátko je 20 % a účinník generátoru je roven $\cos \varphi = 1$. Poté lze vztah upravit:

$$x_{G+T} = 0,2 \cdot \frac{U_n^2}{P_G} \quad (6.3)$$

6. 1. 3. Záložní napájení z rozvodny Dluhonice

Pokud dojde k výpadku napájení rozvodny Kojetín ze sítě 110 kV, tak je možné jedno její vývodové vedení, konkrétně linku VN12, připojit a napájet z druhé strany z rozvodny Dluhonice. Rozvodna Kojetín a její vývody jsou v ten moment napájeny touto linkou ze sítě 22 kV. Ve výpočtech je poté nutné uvažovat soustavu napájející rozvodnu Dluhonice, reaktanci transformátoru 110/22 kV v této rozvodně a impedanci spojovacího vedení VN12. Rozvodna Dluhonice je celkem vybavena třemi transformátory o výkonech 25, 50 a 50 MVA a s různými napětími nakrátko. Pro účel napájení Kojetína bývají v provozu zásadně transformátory s výkonem 50 MVA. Při výpočtu minimálních zkratových proudů se uvažuje provoz transformátoru s vyšším napětím nakrátko a při výpočtu maximálních zkratových proudů se uvažuje provoz transformátoru s nižším napětím nakrátko. Tím je ovlivněna jejich náhradní reaktance.

Nově navržené nadproudové ochrany jsou směrové, čili ochrana sama pozná, že vývodové vedení VN12 je nyní napájecí, a chybně nezapůsobí.

6. 2. Vzorový výpočet vedení VN106

Vývodová linka VN106 je vyvedena z druhého pole rozvodny 22 kV kabelem o délce větší než půl druhého kilometru. Poté je již vedení řešeno převážně AlFe lany různých průřezů. Na konci hlavního vedení je fotovoltaická elektrárna v Němčicích nad Hanou o výkonu 3450 kW, která je

k vedení připojena kabelem. Hlavní vedení má odbočku, která vede do Stříbrnic. V místě odbočky je připojená druhá fotovoltaická elektrárna v Měřovicích nad Hanou o výkonu 290 kW.

Provozovatel sítě má vedení rozdělené na několik úseků, přičemž parametry jako typ, délka a průřez vedení jsou mu dobře známy pro každý úsek zvlášť. Tabulkové hodnoty rezistance a reaktance vedení na jeden kilometr jeho délky jsou pro různé typy a průřezy vedení uvedeny v přílohách. Pro výpočet celkové rezistance a reaktance každého úseku se vychází z prostých vztahů:

$$R = r_k \cdot \frac{l}{1000} (\Omega) \quad (6.4)$$

$$X = x_k \cdot \frac{l}{1000} (\Omega) \quad (6.5)$$

Vypočtené hodnoty rezistance a reaktance každého úseku jsou spolu s dalšími parametry vedení uvedeny v následující tabulce č. 10. Barevně je označeno místo odbočky, přičemž parametry odbočujícího vedení jsou uvedeny v tabulce č. 10 dole.

Tab. č. 10 – Parametry vedení linky VN106

VN106 - Úseky vedení		Typ vedení	<i>S</i>	<i>l</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>I_{DOV}</i>	<i>K</i>
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 2r5	US_PR_5083	AXEKVCEY	240	1657	0,207	0,187	417	93
US_PR_5083	US_PR_5084	AlFe 110/22	110	654	0,174	0,236	318	108
US_PR_5084	US_PR_5025	AlFe 110/22	110	3280	0,872	1,184	318	108
US_PR_5025	US_PR_5082	AlFe 110/22	110	1560	0,415	0,563	318	108
US_PR_5082	PV_9197	AlFe 110/22	110	1593	0,424	0,575	318	108
		2xAlFe 110/22	110	54	0,007	0,010	636	108
		2x AXEKVCEY	240	608	0,038	0,034	834	93

Odbočkové vedení		Typ vedení	<i>S</i>	<i>l</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>I_{DOV}</i>	<i>K</i>
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
US_PR_5025	PR_9479	AlFe 42/7	42	1928	1,379	0,756	163	108
PR_9479	PR_4773	AlFe 42/7	42	1220	0,872	0,478	163	108

Druhým krokem výpočtu je stanovení náhradních reaktancí napájecí soustavy 110 kV, transformátoru T101 a malých lokálních zdrojů elektrické energie.

Náhradní reaktanci transformátoru T101 stanovíme dle vztahu 3.7, přičemž jeho parametry jsou uvedeny v tabulce č. 4.

$$X_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{10,62 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 25 \cdot 10^6} = 2,247 \Omega$$

Poněvadž jmenovité napětí transformátoru je 23 kV, avšak provozované napětí sítě je 22 kV, musíme stanovit přepočítávací koeficient, který tuto skutečnost zohledňuje:

$$p = \frac{U_{nTprim}}{U_{nTsek}} \cdot \frac{U_{(22)}}{U_{(110)}} = \frac{110}{23} \cdot \frac{22}{110} = 0,957$$

Při určování reaktance napájecí soustavy 110 kV se vychází ze dvou hodnot jejího zkratového výkonu. Obě hodnoty jsou uvedeny v obrázku č. 16 v místě napájecí soustavy. Maximální reaktance soustavy se určuje pro výpočet minimálních zkratových proudů a vychází ze situace, kdy je zkratový výkon soustavy 110 kV nejmenší.

$$X_{S \max(110)} = \frac{c \cdot U_{110}^2}{S_{k3 \min}''} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{428,1 \cdot 10^6} = 28,26 \Omega$$

Minimální reaktance soustavy potřebná pro výpočet maximálních zkratových proudů vychází z maximálního zkratového výkonu soustavy.

$$X_{S \min(110)} = \frac{c \cdot U_{110}^2}{S_{k3 \max}''} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{859,9 \cdot 10^6} = 15,48 \Omega$$

Nyní je nutno maximální a minimální reaktance napájecí soustavy přepočítat na stranu 22 kV dle vztahu 3.24. V tomto kroku bude také zohledněn přepočítávací koeficient p respektující odlišné provozované napětí sítě od jmenovitého sekundárního napětí transformátoru.

$$X_{S \max(22)} = X_{S \max(110)} \cdot \left(\frac{U_{(22)}}{U_{(110)} \cdot p} \right)^2 = 28,26 \cdot \left(\frac{22}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 1,234 \Omega$$

$$X_{S \min(22)} = X_{S \min(110)} \cdot \left(\frac{U_{(22)}}{U_{(110)} \cdot p} \right)^2 = 15,48 \cdot \left(\frac{22}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 0,676 \Omega$$

Výsledná „napájecí“ reaktance je dána součtem napájecí soustavy a transformátoru. Opět zůstává zachováno označení pro maximální a minimální hodnotu.

$$X_{S+T \max} = X_{S \max(22)} + X_T = 1,234 + 2,247 = 3,481 \Omega$$

$$X_{S+T \min} = X_{S \min(22)} + X_T = 0,676 + 2,247 = 2,923 \Omega$$

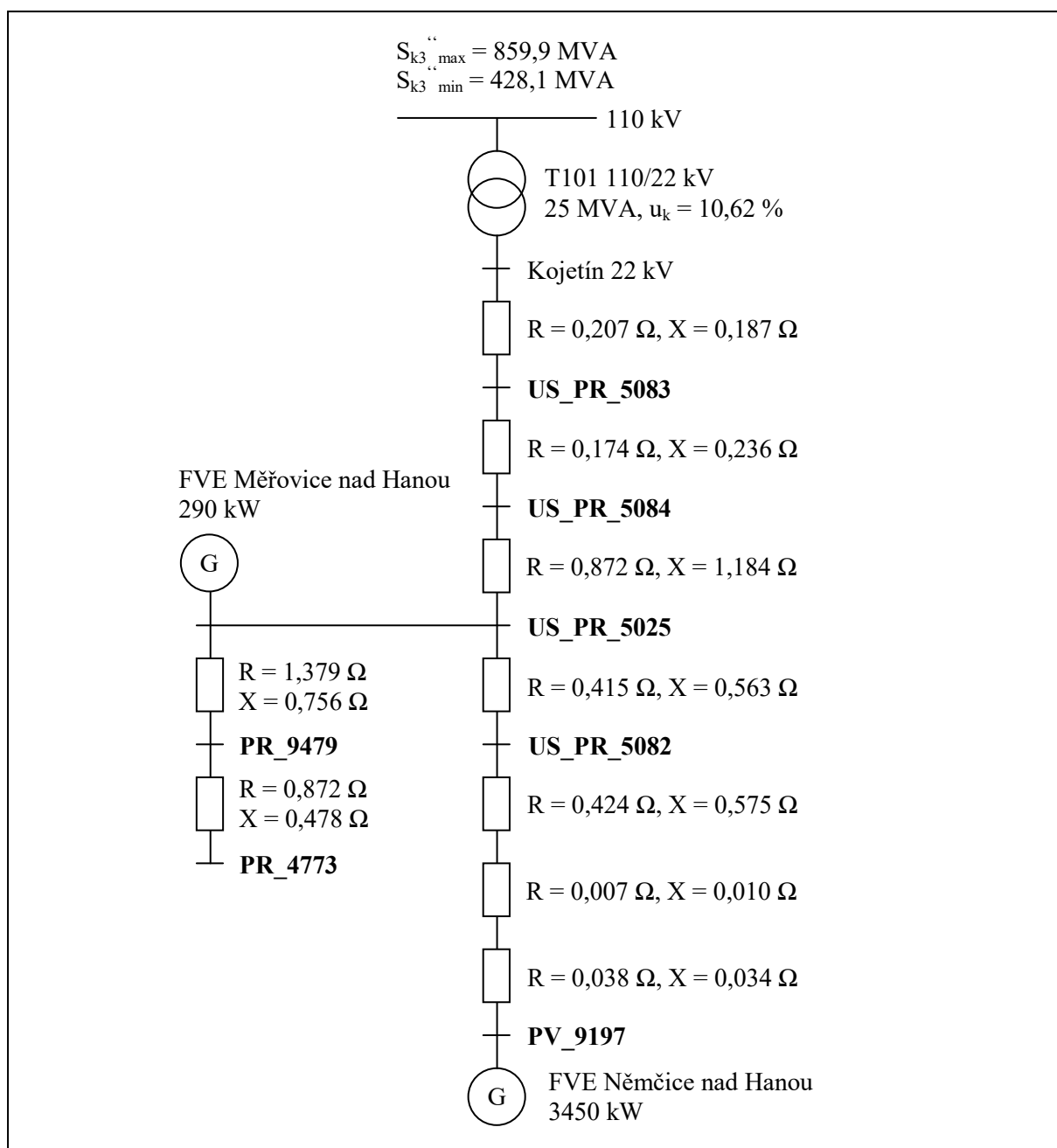
Náhradní reaktance přítomných malých místních zdrojů se počítají dle uvedeného vztahu 6.2 pro výpočet reaktance fotovoltaického zdroje elektrické energie.

$$x_{FVE1} = \frac{c \cdot U_n^2}{P_{FVE1}} = \frac{1,1 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{290 \cdot 10^3} = 1836 \Omega$$

$$x_{FVE2} = \frac{c \cdot U_n^2}{P_{FVE2}} = \frac{1,1 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{3450 \cdot 10^3} = 154,3 \Omega$$

Tímto jsou spočteny náhradní reaktance všech prvků, které jsou zapotřebí pro výpočet zkratových proudů na vedení VN106. V posledním kroku je nutno tyto prvky vhodně sečíst s rezistancemi a reaktancemi vedení a určit příslušnou výslednou impedanci celého zkratového obvodu. Jelikož jsou výpočty pro jednotlivé úseky velmi podobné, uvádím výpočet náhradní reaktance zkratového obvodu a vyčíslení zkratových poměrů pro čtyři úseky, které se v náhradním schématu

impedance zkratového obvodu mezi sebou liší nejvíce. Uvádím tak výpočet na konci prvního úseku (US_PR_5083), v místě odbočky (US_PR_5025) a na obou koncích (PR_4773 a PV_9197). Schéma celé linky VN106 je naznačeno na následujícím obrázku č. 16.



Obr. č. 16 – Schéma linky VN106

6. 2. 1. Zkratové poměry na začátku vedení v US_PR_5083

Výpočet minimálního zkratového proudu

$$Z_V = Z_{KOJ-5083} = (0,207 + j0,187) \Omega$$

$$Z_{(1)\max} = Z_V + X_{S+T\max} = 0,207 + j0,187 + j3,481 = (0,207 + j3,668) \Omega$$

$$Z_{(1)\max} = \sqrt{0,207^2 + 3,668^2} = 3,674 \Omega$$

$$I''_{k2\min} = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(l)\max}|} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot 3,674} = 2,994 \text{ kA}$$

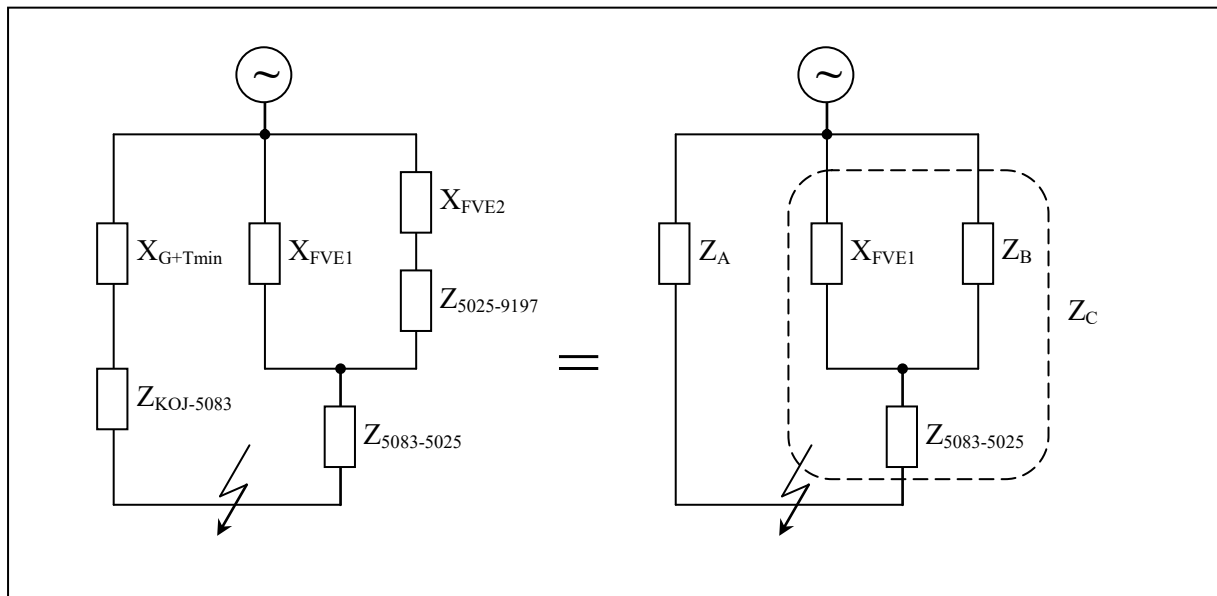
Výpočet maximálního zkratového proudu

$$Z_{KOJ-5083} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (0,207 + j0,187) \Omega$$

$$Z_{5083-5025} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (1,046 + j1,42) \Omega$$

$$Z_{5025-9197} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (0,884 + j1,182) \Omega$$

Na následujícím obrázku č. 17 je naznačeno náhradní schéma zkratového obvodu. Od místa zkratu je nutno brát v potaz proudovodné cesty ke všem zdrojům, tedy k napájecí soustavě 110 kV a oběma malým fotovoltaickým zdrojům. Při výpočtu sério-paraletních kombinací impedancí se využívá postupného zjednodušování obvodů, tak jak je naznačeno na obrázku č. 17 vpravo.



Obr. č. 17 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkratu v US_PR_5083

$$Z_A = X_{G+T\min} + Z_{KOJ-5083} = j2,923 + 0,207 + j0,187 = (0,207 + j3,11) \Omega$$

$$Z_B = X_{FVE2} + Z_{5025-9197} = j154,3 + 0,884 + j1,182 = (0,884 + j155,5) \Omega$$

$$Z_C = \frac{X_{FVE1} \cdot Z_B}{X_{FVE1} + Z_B} + Z_{5083-5025} = \frac{j1836 \cdot (0,884 + j155,5)}{j1836 + 0,884 + j155,5} + 1,046 + j1,42 = (1,797 + j144,8) \Omega$$

$$Z_{(l)\min} = \frac{Z_A \cdot Z_C}{Z_A + Z_C} = \frac{(0,207 + j3,11) \cdot (1,797 + j144,8)}{0,207 + j3,11 + 1,797 + j144,8} = (0,199 + j3,045) \Omega$$

$$Z_{(l)\min} = \sqrt{0,199^2 + 3,045^2} = 3,051 \Omega$$

$$I''_{k3\max} = \frac{c \cdot U_n}{|\sqrt{3} \cdot Z_{(l)\min}|} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 3,051} = 4,579 \text{ kA}$$

Pro výpočet vypínacího času je nutné znát maximální zkratový proud na začátku toho úseku, což pro úsek US_PR_5083 znamená, že je zapotřebí znát maximální zkratový proud v rozvodně v místě vyvedení linky VN106. Náhradní schéma je prakticky totožné, pouze impedance vedení $Z_{KOJ-5083}$ se sloučí s impedancí $Z_{5083-5025}$.

$$Z_{KOJ-5025} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (1,253 + j1,607) \Omega$$

$$Z_C = \frac{X_{FVE1} \cdot Z_B}{X_{FVE1} + Z_B} + Z_{KOJ-5025} = \frac{j1836 \cdot (0,884 + j155,5)}{j1836 + 0,884 + j155,5} + 1,253 + j1,607 = (2,004 + j145) \Omega$$

$$Z_{(1)} = \frac{X_{G+T \min} \cdot Z_C}{X_{G+T \min} + Z_C} = \frac{j2,923 \cdot (2,004 + j145)}{j2,923 + 2,004 + j145} = (0,001 + j2,865) \Omega$$

$$Z_{(1) \min} = \sqrt{0,001^2 + 2,865^2} = 2,865 \Omega$$

$$I_{k3 \max}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{(1) \min}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 2,865} = 4,877 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času

K vypočtení vypínacího času se vychází ze vztahu pro určení minimálního průřezu, který má bezpečně odolat tepelným účinkům zkratových proudů:

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \quad (6.6)$$

Žádanou hodnotou je vypínací čas. Průřez vodiče S a koeficient K pro dimenzování podle tepelných účinků zkratového proudu jsou známé hodnoty zadané v tabulce č. 10. Ekvivalentní oteplovací proud I_{ke} se dá vyjádřit jako součin počátečního rázového zkratového proudu $I_{k3 \max}''$ a součinitele pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu k_e , jenž v dané síti nabývá hodnoty 1,02. Po úpravě tak lze získat vztah pro výpočet maximální vypínací doby:

$$t_{vyp} \leq \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3 \max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{240 \cdot 93}{4877 \cdot 1,02} \right)^2 = 20,1 \text{ s}$$

6. 2. 2. Zkratové poměry v místě odbočky v US_PR_5025

Výpočet minimálního zkratového proudu

$$Z_V = Z_{KOJ-5025} = (1,253 + j1,607) \Omega$$

$$Z_{(1) \max} = Z_V + X_{S+T \max} = 1,253 + j1,607 + j3,481 = (1,253 + j5,088) \Omega$$

$$Z_{(1) \max} = \sqrt{1,253^2 + 5,088^2} = 5,24 \Omega$$

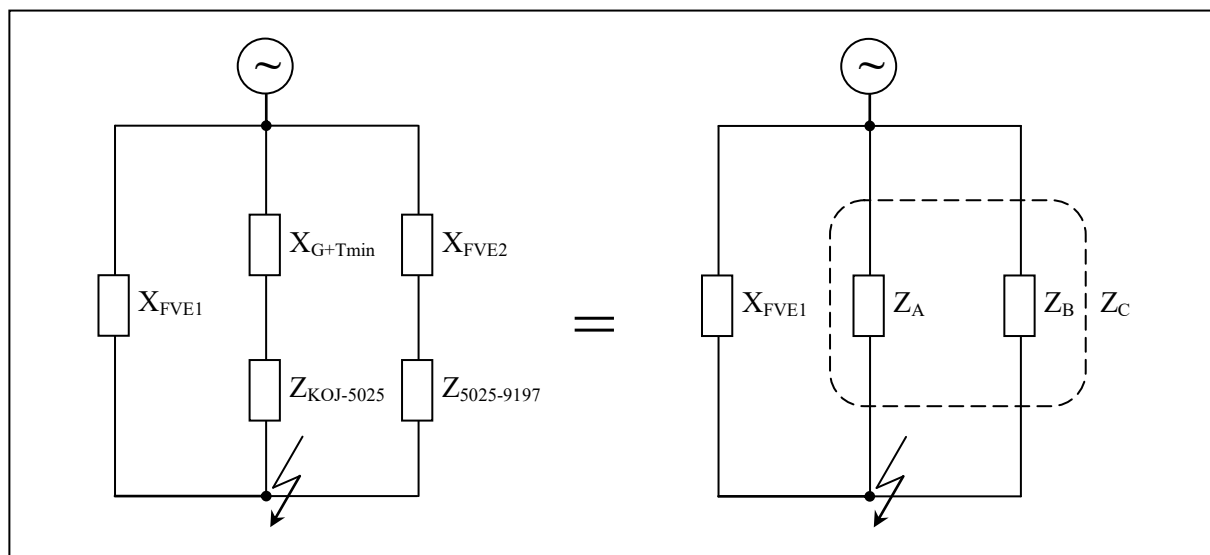
$$I_{k2 \min}'' = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot Z_{(1) \max}} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot 5,24} = 2,099 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního zkratového proudu

$$Z_{KOJ-5025} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (1,253 + j1,607) \Omega$$

$$Z_{5025-9197} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (0,884 + j1,182) \Omega$$

Na následujícím obrázku č. 18 je naznačeno náhradní schéma zkratového obvodu.



Obr. č. 18 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkratu v US_PR_5025

$$Z_A = X_{G+T \min} + Z_{KOJ-5025} = j2,923 + 1,253 + j1,607 = (1,253 + j4,53) \Omega$$

$$Z_B = X_{FVE2} + Z_{5025-9197} = j154,3 + 0,884 + j1,182 = (0,884 + j155,5) \Omega$$

$$Z_C = \frac{Z_A \cdot Z_B}{Z_A + Z_B} = \frac{(1,253 + j4,53) \cdot (0,884 + j155,5)}{1,253 + j4,53 + 0,884 + j155,5} = (1,184 + j4,411) \Omega$$

$$Z_{(1) \min} = \frac{X_{FVE1} \cdot Z_C}{X_{FVE1} + Z_C} = \frac{j1836 \cdot (1,184 + j4,411)}{j1836 + 1,184 + j4,411} = (1,178 + j4,401) \Omega$$

$$Z_{(1) \min} = \sqrt{1,178^2 + 4,401^2} = 4,556 \Omega$$

$$I_{k3 \max}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{(1) \min}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 4,556} = 3,067 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času

Jako hodnotu maximálního nárazového zkratového proudu je nutno dosadit hodnotu proudu odpovídající pro začátek úseku. Je proto odečtena z tabulky č. 11 z konce úseku US_PR_5084.

$$t_{\text{vyp}} \leq \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3 \max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{110 \cdot 108}{4244 \cdot 1,02} \right)^2 = 7,53 \text{ s}$$

6. 2. 3. Zkratové poměry na konci odbočkového vedení v PR_4773

Výpočet minimálního zkratového proudu

$$Z_V = Z_{KOJ-4773} = (3,504 + j2,841) \Omega$$

$$Z_{(l)\max} = Z_V + X_{S+T\max} = 3,504 + j2,841 + j3,481 = (3,504 + j6,322) \Omega$$

$$Z_{(l)\max} = \sqrt{3,504^2 + j6,322^2} = 7,228 \Omega$$

$$I_{k2\min}'' = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(l)\max}|} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot 7,228} = 1,522 \text{ kA}$$

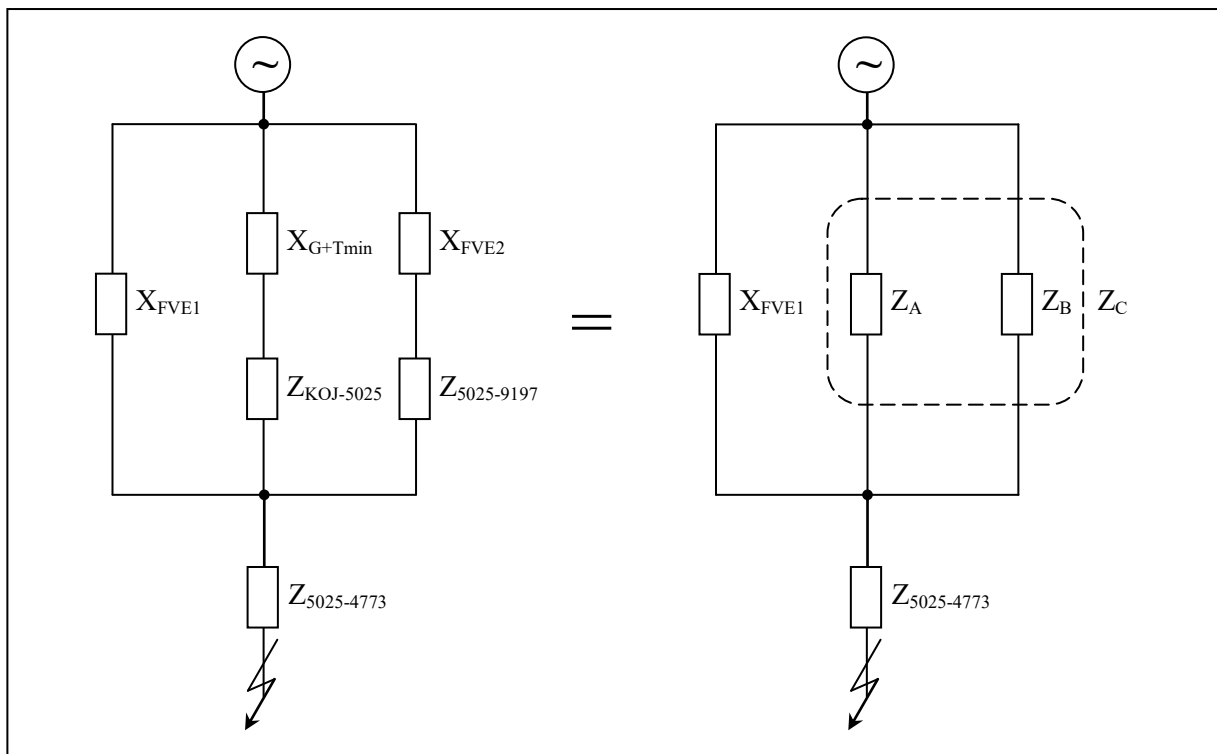
Výpočet maximálního zkratového proudu

$$Z_{KOJ-5025} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (1,253 + j1,607) \Omega$$

$$Z_{5025-9197} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (0,884 + j1,182) \Omega$$

$$Z_{5025-4773} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (2,251 + j1,234) \Omega$$

Na následujícím obrázku č. 19 je naznačeno náhradní schéma zkratového obvodu.



Obr. č. 19 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkratu v PR_4773

$$Z_A = X_{G+T\min} + Z_{KOJ-5025} = j2,923 + 1,253 + j1,607 = (1,253 + j4,53) \Omega$$

$$Z_B = X_{FVE2} + Z_{5025-9197} = j154,3 + 0,884 + j1,182 = (0,884 + j155,5) \Omega$$

$$Z_C = \frac{Z_A \cdot Z_B}{Z_A + Z_B} = \frac{(1,253 + j4,53) \cdot (0,884 + j155,5)}{1,253 + j4,53 + 0,884 + j155,5} = (1,184 + j4,411) \Omega$$

$$Z_{(l)\min} = \frac{X_{FVE1} \cdot Z_C}{X_{FVE1} + Z_C} + Z_{5025-4773} = \frac{j1836 \cdot (1,184 + j4,411)}{j1836 + 1,184 + j4,411} + 2,251 + j1,234 = (3,429 + j5,635) \Omega$$

$$Z_{(l)\min} = \sqrt{3,429^2 + 5,635^2} = 6,596 \Omega$$

$$I_{k3\max}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{(l)\min}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 6,596} = 2,118 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního vypínacího času

Jako hodnotu maximálního nárazového zkratového proudu je nutno dosadit hodnotu proudu odpovídající pro začátek úseku. Je proto odečtena z tabulky č. 11 z konce úseku PR_9497.

$$t_{vyp} \leq \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3\max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{42 \cdot 108}{2427 \cdot 1,02} \right)^2 = 3,36 \text{ s}$$

6. 2. 4. Zkratové poměry na konci hlavního vedení v PV_9197

Výpočet minimálního zkratového proudu

$$Z_V = Z_{KOJ-9197} = (2,137 + j2,789) \Omega$$

$$Z_{(l)\max} = Z_V + X_{S+T\max} = 2,137 + j2,789 + j3,481 = (2,137 + j6,27) \Omega$$

$$Z_{(l)\max} = \sqrt{2,137^2 + 6,27^2} = 6,624 \Omega$$

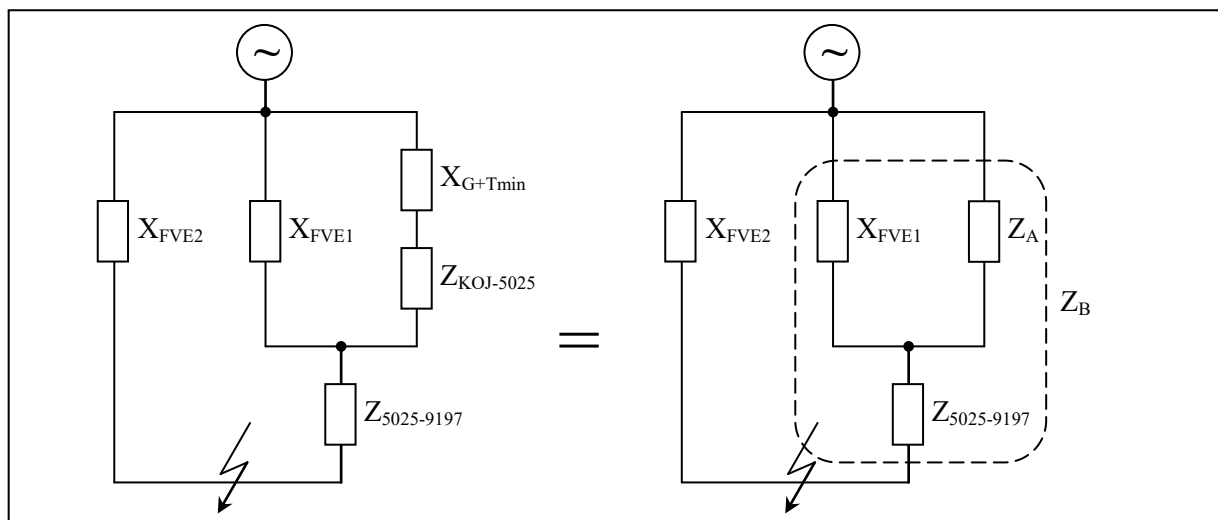
$$I_{k2\min}'' = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot Z_{(l)\max}} = \frac{1 \cdot 22}{2 \cdot 6,624} = 1,661 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního zkratového proudu

$$Z_{KOJ-5025} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (1,253 + j1,607) \Omega$$

$$Z_{5025-9197} = \Sigma R_V + \Sigma X_V = (0,884 + j1,182) \Omega$$

Na následujícím obrázku č. 20 je naznačeno náhradní schéma zkratového obvodu.



Obr. č. 20 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkrat v PV_9197

$$Z_A = X_{G+T \min} + Z_{KOJ-5025} = j2,923 + 1,253 + j1,607 = (1,253 + j4,53) \Omega$$

$$Z_B = \frac{X_{FVE1} \cdot Z_A}{X_{FVE1} + Z_A} + Z_{5025-9197} = \frac{j1836 \cdot (1,253 + j4,53)}{j1836 + (1,253 + j4,53)} + 0,884 + j1,182 = (2,131 + j5,702) \Omega$$

$$Z_{(1) \min} = \frac{X_{FVE2} \cdot Z_B}{X_{FVE2} + Z_B} = \frac{j154,3 \cdot (2,131 + j5,702)}{j154,3 + (2,131 + j5,702)} = (1,981 + j5,525) \Omega$$

$$Z_{(1) \min} = \sqrt{1,981^2 + 5,525^2} = 5,869 \Omega$$

$$I_{k3 \max}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{(1) \min}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 5,869} = 2,381 \text{ kA}$$

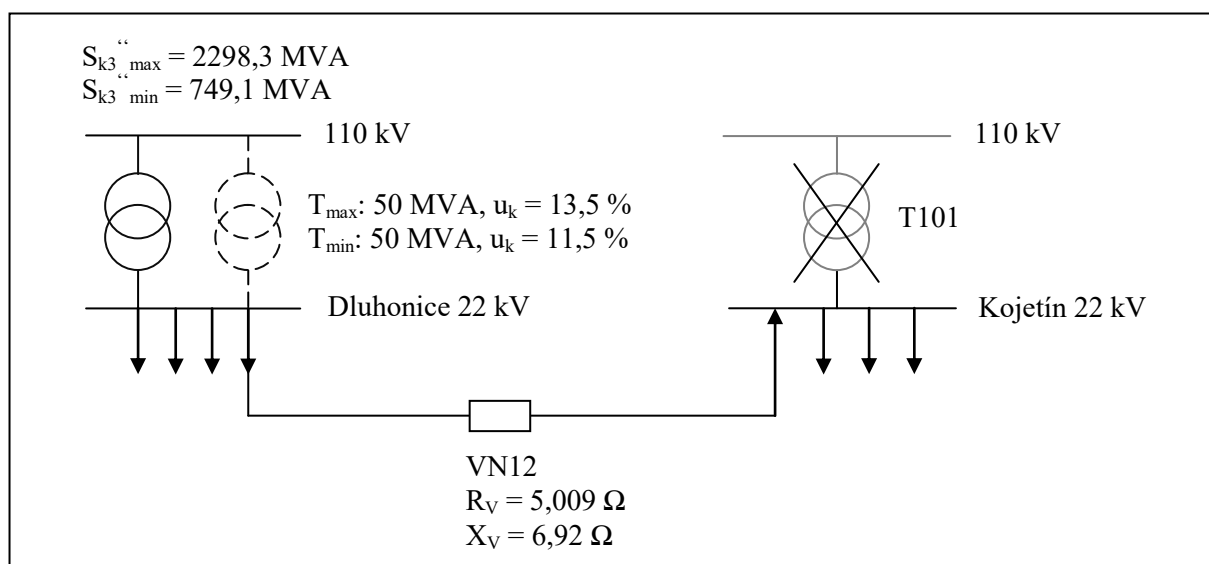
Výpočet maximálního vypínacího času

Jako hodnotu maximálního nárazového zkratového proudu je nutno dosadit hodnotu proudu odpovídající pro začátek úseku. Je proto odečtena z tabulky č. 11 z konce předešlého úseku.

$$t_{vyp} \leq \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3 \max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{240 \cdot 93}{2397 \cdot 1,02} \right)^2 = 83,3 \text{ s}$$

6. 2. 5. Výpočet zkratových poměrů při záložním napájení

Při výpočtu zkratových poměrů na vývodových vedeních při záložním napájení rozvodny Kojetín z rozvodny Dluhonice je nutno přepočítat vstupní impedanci napájecí soustavy, která zahrnuje reaktanci soustavy 110 kV napájející rozvodnu Dluhonice, reaktanci příslušného transformátoru a impedanci spojovací vedení VN12. Zjednodušené schéma je zobrazeno na obrázku č. 21.



Obr. č. 21 – Záložní napájení rozvodny Kojetín

Rozvodna Dluhonice je vybavena třemi transformátory. V tomto případě je nutno rozlišit provoz transformátoru s minimální a maximální reaktancí, jak bylo již vysvětleno dříve.

$$X_{T\max} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{13,5 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 50 \cdot 10^6} = 1,428 \Omega$$

$$X_{T\min} = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{100 \cdot S_{nT}} = \frac{11,5 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 50 \cdot 10^6} = 1,217 \Omega$$

Určení maximální a minimální reaktance soustavy 110 kV napájející rozvodnu Dluhonice je obdobné jako u rozvodny Kojetín:

$$X_{S\max(110)} = \frac{c \cdot U_{110}^2}{S_{k3\min}''} = \frac{1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{749,1 \cdot 10^6} = 16,15 \Omega$$

$$X_{S\min(110)} = \frac{c \cdot U_{110}^2}{S_{k3\max}''} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{2298,3 \cdot 10^6} = 5,791 \Omega$$

Transformátory mají jmenovité sekundární napětí 23 kV, proto je nutno opět počítat s koeficientem p , jehož hodnota se oproti původnímu výpočtu nezměnila. Přepočet reaktancí soustav na stranu 22 kV je pak následující:

$$X_{S\max(22)} = X_{S\max(110)} \cdot \left(\frac{U_{(22)}}{U_{(110)} \cdot p} \right)^2 = 16,15 \cdot \left(\frac{22}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 0,705 \Omega$$

$$X_{S\min(22)} = X_{S\min(110)} \cdot \left(\frac{U_{(22)}}{U_{(110)} \cdot p} \right)^2 = 5,791 \cdot \left(\frac{22}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 0,253 \Omega$$

K výsledné „napájecí“ impedanci je nutno ještě připočíst impedanci spojovacího vedení VN12 o provozních parametrech $R_V = 5,009 \Omega$ a $X_V = 6,92 \Omega$.

$$Z_{S+T+V\max} = X_{S\max(22)} + X_{T\max} + Z_V = j0,705 + j1,428 + 5,009 + j6,92 = (5,009 + j9,053) \Omega$$

$$Z_{S+T+V\min} = X_{S\min(22)} + X_{T\min} + Z_V = j0,253 + j1,217 + 5,009 + j6,92 = (5,009 + j8,39) \Omega$$

Další postup při výpočtu zkratových poměrů na vývodech je stejný, jako bylo předvedeno při výpočtech s normálním provozním stavem rozvodny Kojetín. Je bezpředmětné uvádět zde ty samé počty pouze s rozdílnou hodnotou „napájecí“ impedance, proto jsou výsledky zkratových poměrů při záložním napájení pouze uvedené v příslušných tabulkách pro každou vývodovou linku. Přestože rozvodna Dluhonice dosahuje vyšších výkonů a její reaktance jsou nižší, tak výsledné hodnoty zkratových proudů na vývodech z rozvodny Kojetín jsou mnohem nižší než při jejím standardním napájení ze sítě 110 kV. Je to dáno značnou impedancí spojovacího vedení VN12, které tak omezuje velikost protékajícího poruchového proudu.

Zkratové poměry pro vedení VN106 jsou uvedeny v následující tabulce č. 11. Její hodnoty se mohou oproti zde uvedeným výpočtům mírně lišit na třetím desetinném místě, poněvadž jsem počítal na čtyři platné číslice. Tabulkové výsledky jsou počítány matematickým softwarem, který uvažuje platných číslic mnohem víc, a proto je lze obecně považovat za přesnější.

Tab. č. 11 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN106

VN106 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 2r5	US_PR_5083	2,992	4,577	20,1	1,037	1,476	154
US_PR_5083	US_PR_5084	2,803	4,244	6,47	1,009	1,436	62,3
US_PR_5084	US_PR_5025	2,098	3,066	7,53	0,890	1,268	65,8
US_PR_5025	US_PR_5082	1,866	2,698	14,4	0,842	1,201	84,3
US_PR_5082	PV_9197	1,674	2,402	18,6	0,799	1,141	94,0
		1,671	2,397	23,5	0,798	1,140	104
		1,660	2,380	83,3	0,795	1,136	369

Odbočkové vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
US_PR_5025	PR_9479	1,716	2,427	2,10	0,801	1,128	12,3
PR_9479	PR_4773	1,521	2,118	3,36	0,752	1,053	15,5

6. 3. Výsledné hodnoty zkratových poměrů na jednotlivých vedeních

Pro každé vedení jsou vždy nejdříve uvedeny parametry úseků daného vedení a poté výsledky zkratových poměrů. Vývodová vedení jsou řešena postupně podle jejich číselného pořadí v rozvodně.

Pro spojovací vedení VN12 nejsou řešeny zkratové poměry při záložním napájení, neboť vedení v ten moment spadá pod systém ochrany v rozvodně Dluhonice.

Tabulkové hodnoty rezistance a reaktance pro různé typy a průřezy vedení na jeden kilometr délky jsou uvedeny v přílohách. V přílohách je také seznam všech malých místních zdrojů, které jsou připojeny k některému z napájeného vedení. V seznamu je vždy uveden typ elektrárny, místo připojení, lokalita, výkon a velikost náhradní reaktance spočtená dle vztahů 6.1 nebo 6.3.

Zjednodušené schéma rozvodny 22 kV a vedení jednotlivých linek, včetně jejich dělení do úseků, je zobrazeno na schématu, které kvůli své rozlehlosti a drobným popiskům muselo být umístěno v rámci příloh na přiloženém CD. Na schématu je zobrazena také rozvodna Dluhonice. Lze si všimnout, že v normálním bezporuchovém stavu je spojovací vedení VN12 v rozvodně Dluhonice odpojeno. Na schématu jsou také k vidění všechny malé místní zdroje, které jsou k vedení připojeny.

Tab. č. 12 – Parametry vedení linky VN295

VN295 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 4r5	US_PR_5088	ANKTOYPV	240	315	0,041	0,028	353	71
		AlFe 120	120	235	0,055	0,084	357	108
US_PR_5088	US_PR_5354	AlFe 120	120	1159	0,271	0,413	357	108
US_PR_5354	US_PR_5084	AlFe 120	120	486	0,114	0,173	357	108
US_PR_5084	US_PR_5334	AlFe 120	120	263	0,062	0,094	357	108
US_PR_5334	PR_9177	AlFe 50	50	45	0,031	0,018	177	108
PR_9177	US_PR_5336	AlFe 110/22	110	1167	0,310	0,421	318	108
US_PR_5336	US_PR_9135	AlFe 110/22	110	301	0,080	0,109	318	108
US_PR_9135	US_PR_5090	AlFe 110/22	110	1700	0,452	0,614	318	108

Odbočkové vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
US_PR_5334	US_PR_5334	AlFe 95	95	165	0,053	0,061	284	108
		AlFe 70/11	70	168	0,080	0,064	236	108
US_PR_5334	US_PR_3216	AXEKVCEY	240	256	0,032	0,029	417	93
US_PR_3216	PR_3202	AXEKVCEY	240	418	0,052	0,047	417	93
PR_3202	PR_3209	ANKTOYPV	70	593	0,262	0,056	177	71
PR_3209	PR_3206	ANKTOYPV	70	140	0,062	0,013	177	71
PR_3206	PR_2303	ANKTOYPV	70	279	0,123	0,026	177	71
PR_2303	PR_3210	ANKTOYPV	70	156	0,069	0,015	177	71
		ANKTOYPV	95	474	0,155	0,062	211	71
		AXEKVCEY	120	141	0,036	0,018	285	93
		ANKTOYPV	95	417	0,136	0,054	211	71
PR_3210	PR_3214	ANKTOYPV	185	394	0,076	0,036	306	71
PR_3214	PR_3204	ANKTOYPV	185	512	0,099	0,047	306	71
PR_3204	PR_9184	ANKTOYPV	120	332	0,099	0,032	241	71
PR_9184	PR_3213	ANKTOYPV	240	144	0,019	0,013	353	71
PR_3213	PR_3212	ANKTOYPV	240	318	0,041	0,028	353	71
PR_3212	PR_3211	ANKTOYPV	240	225	0,029	0,020	353	71

Odbočkové vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
US_PR_9135	PR_9135	AlFe 70/11	70	341	0,162	0,129	236	108
		AXEKVCEY	120	370	0,094	0,047	285	93

Tab. č. 13 – Výsledné hodnoty zkratových proudů na vedení VN295

VN295 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 4r5	US_PR_5088	3,133	4,902	11,4	1,059	1,571	112
		3,059	4,770	6,72	1,048	1,557	65,4
US_PR_5088	US_PR_5354	2,734	4,198	7,10	1,001	1,491	66,6
US_PR_5354	US_PR_5084	2,614	3,994	9,16	0,983	1,465	72,6
US_PR_5084	US_PR_5334	2,554	3,891	10,1	0,973	1,451	75,2
US_PR_5334	PR_9177	2,541	3,869	1,85	0,971	1,447	13,3
PR_9177	US_PR_5336	2,294	3,458	9,06	0,928	1,388	64,8
US_PR_5336	US_PR_9135	2,237	3,365	11,3	0,918	1,373	70,5
US_PR_9135	US_PR_5090	1,959	2,876	12,0	0,863	1,278	72,0

Odbočkové vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
US_PR_5334	US_PR_5334	2,514	3,818	6,68	0,966	1,439	48,0
		2,472	3,741	3,77	0,959	1,426	26,5
US_PR_5334	US_PR_3216	2,454	3,707	34,2	0,955	1,420	236
US_PR_3216	PR_3202	2,424	3,653	34,8	0,950	1,410	238
PR_3202	PR_3209	2,369	3,550	1,78	0,935	1,386	11,9
PR_3209	PR_3206	2,355	3,524	1,88	0,932	1,380	12,4
PR_3206	PR_2303	2,328	3,472	1,91	0,925	1,369	12,5
PR_2303	PR_3210	2,312	3,443	1,97	0,921	1,362	12,7
		2,263	3,354	3,69	0,911	1,345	23,6
		2,250	3,331	10,6	0,908	1,341	66,2
		2,208	3,255	3,94	0,899	1,326	24,3
PR_3210	PR_3214	2,182	3,209	15,7	0,894	1,317	94,4
PR_3214	PR_3204	2,149	3,150	16,1	0,887	1,306	95,6
PR_3204	PR_9184	2,122	3,102	7,03	0,882	1,296	40,9
PR_9184	PR_3213	2,114	3,089	29,0	0,880	1,293	166
PR_3213	PR_3212	2,098	3,060	29,3	0,877	1,288	167
PR_3212	PR_3211	2,086	3,040	29,8	0,875	1,284	168

Odbočkové vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
US_PR_9135	PR_9135	2,167	3,249	4,85	0,903	1,352	29,1
		2,139	3,202	11,3	0,897	1,343	65,5

Tab. č. 14 – Parametry vedení linky VN332

VN332 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 8r5	PR_9187	ANKTOYPV	120	938	0,280	0,091	241	71
		AXEKVCEY	120	9	0,002	0,001	285	93
PR_9187	PR_9102	AXEKVCEY	120	322	0,081	0,041	285	93

Tab. č. 15 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN332

VN332 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
Od	Do	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
		(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 8r5	PR_9187	3,068	4,805	2,83	1,041	1,563	27,3
		3,067	4,803	5,19	1,041	1,563	49,0
PR_9187	PR_9102	3,027	4,724	5,19	1,034	1,550	49,0

Tab. č. 16 – Parametry vedení linky VN296

VN296 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 9r5	US_PR_5021	ANKTOYPV	240	185	0,024	0,016	353	71
US_PR_5021	US_PR_5022	AlFe 110/22	110	1061	0,282	0,383	318	108
US_PR_5022	US_PR_5085	AlFe 120	120	464	0,109	0,165	357	108
US_PR_5085	PR_3246	AlFe 110/22	110	268	0,071	0,097	318	108
		AlFe 70	70	1055	0,456	0,399	225	108
PR_3246	PR_9206	AlFe 70/11	70	1068	0,506	0,404	236	108
PR_9206	US_PR_3239	AlFe 70/11	70	1038	0,492	0,392	236	108
		AlFe 50	50	170	0,118	0,066	177	108
US_PR_3239	PR_3241	AlFe 50	50	310	0,216	0,121	177	108

Tab. č. 17 – Výsledné hodnoty zkratových proudů na vedení VN296

VN296 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
Od	Do	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
		(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 9r5	US_PR_5021	3,144	4,752	12,2	1,060	1,426	137
US_PR_5021	US_PR_5022	2,825	4,187	6,01	1,014	1,360	66,7
US_PR_5022	US_PR_5085	2,704	3,977	9,21	0,996	1,335	87,2
US_PR_5085	PR_3246	2,636	3,862	8,58	0,985	1,320	76,2
		2,371	3,413	3,68	0,937	1,251	31,6
PR_3246	PR_9206	2,134	3,024	4,72	0,891	1,186	35,1
PR_9206	US_PR_3239	1,936	2,708	6,01	0,850	1,129	39,1
		1,902	2,654	3,82	0,843	1,118	22,0
US_PR_3239	PR_3241	1,841	2,558	3,98	0,829	1,098	22,4

Tab. č. 18 – Parametry vedení linky VN297

VN297 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{DOV}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 12r5	US_PR_5115	ANKTOYPV	240	246	0,032	0,022	353	71
US_PR_5115	PR_5089	AlFe 110/22	110	1261	0,335	0,455	318	108
PR_5089	US_PR_5090	AlFe 110/22	110	1194	0,318	0,431	318	108
US_PR_5090	US_PR_5111	AlFe 110/22	110	2974	0,791	1,074	318	108
US_PR_5111	US_PR_5110	AlFe 110/22	110	3286	0,874	1,186	318	108
US_PR_5110	US_PR_5252	AlFe 110/22	110	1043	0,277	0,377	318	108
		AlFe 95	95	439	0,140	0,162	284	108
US_PR_5252	US_PR_5107	AlFe 95	95	382	0,122	0,141	284	108
US_PR_5107	US_PR_5254	AlFe 110/22	110	519	0,138	0,187	318	108

Odbočkové vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{DOV}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
US_PR_5111	US_PR_5373	AlFe 70/11	70	3138	1,487	1,186	236	108
US_PR_5373	US_PR_5356	AlFe 70/11	70	2139	1,014	0,809	236	108

Odbočkové vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{DOV}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
US_PR_5252	PR_9491	AlFe 70/11	70	309	0,146	0,117	236	108
PR_9491	US_PR_5109	AlFe 66/11	66	1110	0,526	0,420	236	108
US_PR_5109	PR_9502	AXEKVCEY	70	461	0,204	0,064	210	93
PR_9502	PR_3227	AXEKVCEY	70	140	0,062	0,019	210	93
PR_3227	RR_3219	AXEKVCEY	120	442	0,112	0,056	285	93

Tab. č. 19 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN297

VN297 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 12r5	US_PR_5115	3,139	4,767	12,1	1,060	1,446	133
US_PR_5115	PR_5089	2,766	4,109	5,97	1,005	1,368	64,9
PR_5089	US_PR_5090	2,475	3,613	8,04	0,959	1,302	72,5
US_PR_5090	US_PR_5111	1,943	2,745	10,4	0,859	1,160	80,0
US_PR_5111	US_PR_5110	1,559	2,151	18,0	0,771	1,034	101
US_PR_5110	US_PR_5252	1,466	2,011	29,3	0,747	1,000	127
		1,428	1,954	25,0	0,736	0,985	101
US_PR_5252	US_PR_5107	1,396	1,906	26,5	0,727	0,972	104
US_PR_5107	US_PR_5254	1,357	1,849	37,3	0,716	0,957	144

Odbočkové vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
US_PR_5111	US_PR_5373	1,511	2,076	82,9	0,754	1,011	464
US_PR_5373	US_PR_5356	1,301	1,764	12,7	0,695	0,928	53,8

Odbočkové vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
US_PR_5252	PR_9491	1,398	1,910	14,4	0,728	0,973	56,6
PR_9491	US_PR_5109	1,301	1,765	13,4	0,698	0,931	51,6
US_PR_5109	PR_9502	1,279	1,733	13,1	0,691	0,921	47,0
PR_9502	PR_3227	1,273	1,723	13,6	0,689	0,918	48,0
PR_3227	RR_3219	1,258	1,702	40,3	0,684	0,912	142

Tab. č. 20 – Parametry vedení linky VN111

VN111 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 13r5	PR_9187	ANKTOYPV	120	469	0,140	0,045	241	71
		ANKTOYPV	240	493	0,064	0,043	353	71
		AXEKVCEY	120	9	0,002	0,001	285	93
PR_9187	PR_9102	AXEKVCEY	120	322	0,081	0,041	285	93

Tab. č. 21 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN111

VN111 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 13r5	PR_9187	3,115	4,891	2,83	1,052	1,580	27,4
		3,075	4,818	11,7	1,045	1,570	112
		3,074	4,816	5,16	1,045	1,570	48,6
PR_9187	PR_9102	3,035	4,742	5,16	1,037	1,557	48,6

Tab. č. 22 – Parametry vedení linky VN12

VN12 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{DOV}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 17r5	US_PR_5021	AXEKVCEY	240	109	0,014	0,012	417	93
US_PR_5021	PR_3201	AlFe 120	120	1840	0,431	0,655	357	108
PR_3201	PR_9251	AlFe 120	120	5155	1,206	1,835	357	108
PR_9251	US_PR_5281	AlFe 95	95	2102	0,671	0,778	284	108
US_PR_5281	US_PR_9253	AlFe 95	95	201	0,064	0,074	284	108
US_PR_9253	PR_4784	AlFe 95	95	402	0,128	0,149	284	108
PR_4784	US_PR_5104	AlFe 110/22	110	753	0,200	0,276	318	108
US_PR_5104	US_PR_5271	AlFe 110/22	110	316	0,084	0,116	318	108
US_PR_5271	US_PR_5282	AlFe 110/22	110	2965	0,789	1,085	318	108
US_PR_5282	US_PR_5121	AlFe 110/22	110	3105	0,826	1,136	318	108
US_PR_5121	US_PR_9337	AlFe 110/22	110	925	0,246	0,339	318	108
US_PR_9337	Dluhonice	AlFe 110/22	110	1179	0,314	0,432	318	108
		AXEKVCEY	240	295	0,037	0,033	417	93

Odbočkové vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{DOV}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
US_PR_5104	US_PR_5105	AlFe 70/11	70	160	0,076	0,060	236	108
		AlFe 70/11	70	510	0,242	0,193	236	108
US_PR_5105	PR_9500	AlFe 70	70	68	0,029	0,026	225	108
PR_9500	PR_9511	AlFe 70/11	70	1201	0,569	0,454	236	108
PR_9511	US_PR_5099	AlFe70/11	70	2045	0,969	0,773	236	108
US_PR_5099	US_PR_9515	AlFe70/11	70	49	0,023	0,019	236	108
US_PR_9515	PR_9514	AlFe 50	50	51	0,035	0,020	177	108
		ANKTOYPV	95	116	0,038	0,015	211	71

Tab. č. 23 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN12

VN12 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 17r5	US_PR_5021	3,147	4,759	21,0	-	-	-
US_PR_5021	PR_3201	2,635	3,862	7,13	-	-	-
PR_3201	PR_9251	1,772	2,464	10,8	-	-	-
PR_9251	US_PR_5281	1,538	2,110	16,7	-	-	-
US_PR_5281	US_PR_9253	1,519	2,081	22,7	-	-	-
US_PR_9253	PR_4784	1,482	2,025	23,4	-	-	-
PR_4784	US_PR_5104	1,419	1,933	33,1	-	-	-
US_PR_5104	US_PR_5271	1,394	1,896	36,3	-	-	-
US_PR_5271	US_PR_5282	1,197	1,611	37,7	-	-	-
US_PR_5282	US_PR_5121	1,041	1,390	52,3	-	-	-
US_PR_5121	US_PR_9337	1,002	1,335	70,2	-	-	-
US_PR_9337	Dluhonice	0,957	1,271	76,1	-	-	-
		0,953	1,266	296	-	-	-

Odbočkové vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
US_PR_5104	US_PR_5105	1,404	1,910	14,7	-	-	-
		1,357	1,842	15,1	-	-	-
US_PR_5105	PR_9500	1,352	1,833	16,2	-	-	-
PR_9500	PR_9511	1,253	1,689	16,3	-	-	-
PR_9511	US_PR_5099	1,111	1,485	19,3	-	-	-
US_PR_5099	US_PR_9515	1,108	1,481	24,9	-	-	-
US_PR_9515	PR_9514	1,104	1,476	12,8	-	-	-
		1,101	1,471	20,1	-	-	-

Tab. č. 24 – Parametry vedení linky VN1104

VN1104 - Úseky vedení		Typ vedení	S	l	R	X	I_{Dov}	K
Od	Do		(mm ²)	(m)	(Ω)	(Ω)	(A)	(-)
Kojetín 19r5	US_PR_9137	AXEKVCEY	240	594	0,074	0,067	417	93

Tab. č. 25 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN1104

VN1104 - Úseky vedení		Normální provoz			Záložní napájení		
		I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}	I_{k2min}''	I_{k3max}''	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)	(kA)	(kA)	(s)
Kojetín 19r5	US_PR_9137	3,098	4,794	19,9	1,053	1,524	202

7. Nastavení ochran v rozvodně

Nastavení ochran v rozvodně Kojetín se týká především nadproudových ochran 7SJ6326 chránící vývody a transformátor 110/22 kV a ochrany 7SJ6425 chránící podélnou spojku přípojníc. V téměř všech případech se užívají nesměrové nadproudové ochrany. Výjimkou je pouze vývod linky VN12, který je navíc doplněn i směrovou nadproudovou ochranou, poněvadž je nutné rozlišit, jestli linka plní funkci záložního napájení z rozvodny Dluhonice. Nadproudové ochrany jsou doplněny logickou ochranou rozvodny, která v určitých odůvodněných případech zajišťuje blokování ochran.

7.1. Nastavení nadproudových ochran na vývodech

K chránění vývodů jsou užity ochrany nesměrové s nezávislou charakteristikou působení. Na ochranách se vždy nastavují dva stupně, a sice stupeň nadproudový a zkratový.

7.1.1. Stupeň nadproudový proti přetížení

Pro nastavení nadproudového stupně platí vztah 2.9. Jako maximální dovolený proud linky se vždy uvažuje maximální dovolený zatěžovací proud nejslabšího úseku vedení. Tento nejslabší úsek je vždy volen z vedení hlavního, nikdy tedy ne z vedení odbočkového. Odbočkové vedení se v praxi zohledňuje jen občas, když je nutno přihlížet k možnostem záložního napájení. To však není případ vývodů z rozvodny Kojetín. Podle typu nejslabšího úseku vedení, tedy zdali se jedná o venkovní nebo kabelový úsek, se volí velikost koeficientu bezpečnosti návratu ochrany do klidové polohy k_b . Pro venkovní vedení je hodnota k_b rovna 1,2 a pro kabelové vedení je nižší - 1,05 z důvodu větší citlivosti na přetížení. Přídržný poměr ochrany k_p je výrobcem stanoven na hodnotu 0,95. Převody použitých PTP u jednotlivých vývodů jsou uvedeny v tabulce 7 a 8. Výrobce PTP udává, že je možné PTP trvale provozovat při 120 % jmenovitého provozního proudu. Vypínací časy nadproudových stupňů jsou zvoleny empiricky na hodnotě 0,8 s. S tímto vypínacím časem spolehlivě ochrany pracovaly od začátku provozu rozvodny, a proto není třeba tento čas měnit.

V následující tabulce č. 26 jsou uvedeny všechny parametry nutné pro výpočet proudů na sekundárních stranách PTP, které budou nastaveny na příslušných ochranách.

Tab. č. 26 – Hodnoty pro nastavení nadproudového stupně ochran

Vývodní linka	I_{DOV} (A)		Převod PTP	k_b (-)	k_p (-)
	Skutečný	Uvažovaný			
VN106	318	320	300/5	1,2	0,95
VN295	177	180	300/5	1,2	0,95
VN332	241	240	150/5	1,05	0,95
VN296	177	180	300/5	1,2	0,95
VN297	284	285	300/5	1,2	0,95
VN111	241	240	150/5	1,05	0,95
VN12	284	285	300/5	1,2	0,95
VN1104	417	420	300/5	1,05	0,95

Vývodové vedení VN106

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} \Rightarrow \frac{1,2}{0,95} \cdot 320 \approx 410 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} = \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{410}{300 / 5} \approx 6,8 \text{ A}$$

Poněvadž hodnota 6,8 A překračuje mez 120 % dovoleného proudu PTP, tak se ochrana nastaví na maximální přípustnou hodnotu dovoleného proudu PTP, tedy 6 A.

Vývodová vedení VN295 a VN296

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} \Rightarrow \frac{1,2}{0,95} \cdot 180 \approx 230 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} = \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{230}{300 / 5} \approx 3,8 \text{ A}$$

Vývodová vedení VN332 a VN111

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} \Rightarrow \frac{1,05}{0,95} \cdot 240 \approx 270 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} = \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{270}{150 / 5} \approx 9 \text{ A}$$

Poněvadž hodnota 9 A překračuje mez 120 % dovoleného proudu PTP, tak se ochrana nastaví na maximální přípustnou hodnotu dovoleného proudu PTP, tedy 6 A.

Vývodové vedení VN297

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} \Rightarrow \frac{1,2}{0,95} \cdot 285 \approx 360 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} = \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{360}{300 / 5} \approx 6 \text{ A}$$

Vývodové vedení VN1104

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} \Rightarrow \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 \approx 470 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} = \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{470}{300 / 5} \approx 7,8 \text{ A}$$

Poněvadž hodnota 7,8 A překračuje mez 120 % dovoleného proudu PTP, tak se ochrana nastaví na maximální přípustnou hodnotu dovoleného proudu PTP, tedy 6 A.

Jedná se o nově vybudované vedení s ochranou v koncové DTS. Aby byla dodržena selektivita ochran, vypínací čas ochrany této linky v rozvodně Kojetín musí být navýšen o stupeň časové selektivity, proto u této linky je vypínací čas nastaven na 1,00 s.

7. 1. 2. Stupeň zkratový

Pro nastavení zkratového stupně platí vztah 2.10. Minimální hodnoty zkratových proudů potřebné pro nastavení zkratových stupňů byly sice v předchozí kapitole č. 6 vypočítány pro každou vývodovou linku zvlášť, nicméně ve skutečnosti se ochrany nastavují na jednotnou hodnotu zkratového proud 900 A. Předpokladem totiž je, že proudy nad touto hodnotou jsou vždy vyvolané v důsledku zkratu, a proto není nutné každou linku nastavovat individuálně s rozdílnými rozběhovými hodnotami. Nastavené rozběhové proudy na ochranách se tedy rozlišují pouze podle převodu PTP, kterým je daná linka vybavena. Protože na vedeních za rozvodnou není žádná jiná zkratová ochrana, tak se uvažuje nejkratší možný vypínací čas, tedy 0 s.

Vývodová vedení VN106, VN295, VN296, VN297 a VN1104

$$I_{rZK-prim} = 900 \text{ A}$$

$$I_{rZK-sek} = \frac{I_{rZK-prim}}{p_i} = \frac{900}{300 / 5} = 15 \text{ A}$$

Vývodová vedení VN332 a VN111

$$I_{rZK-prim} = 900 \text{ A}$$

$$I_{rZK-sek} = \frac{I_{rZK-prim}}{p_i} = \frac{900}{150 / 5} = 30 \text{ A}$$

V případě záložního napájení z rozvodny Dluhonice je situace taková, že minimální zkratové proudy jsou natolik nízké, že takto nastavené zkratové ochrany nemusejí případný zkrat vůbec rozpoznat. Ovšem proudy pod 900 A nejsou pro vedení až tak nebezpečné, aby musely být vypnuty v co nejkratším čase. Postačí tedy, když na ně zapůsobí nadproudové ochrany v čase 0,80 s.

7. 1. 3. Nastavení ochrany linky VN12

Linka VN12 se od všech ostatních vývodů liší tím, že je možný její provoz s napájením z obou stran. V normálním provozu je tato linka napájena z rozvodny Kojetín a směr toku proudu je tedy ven z této rozvodny. Jestliže by tato linka byla osazena pouze nesměrovou ochranou s vypínacím časem 0,80 s jako ochrany ostatních vedení, vše by v tomto případě fungovalo. Pokud však připadá v úvahu, že linka plní i funkci záložní, tedy že směr toku proudu se může obrátit směrem do rozvodny Kojetín, tak s nastaveným časem 0,80 s by ochrana nezajišťovala patřičnou selektivitu, poněvadž by při zkratu na jiném vývodu vybavila současně s ochranou daného vývodu, čímž by vypadlo napájení celé rozvodny. Řešením by bylo zvýšit vypínací čas ochrany linky VN12, což by však prodlužovalo dobu, po kterou by mohlo být vedení vystaveno nebezpečným nadproudům. Elegantnější řešení spočívá v užití směrového stupně, kterým je ochrana 7SJ6326 vybavena. Směrový stupeň působí pouze při směru toku proudu ven z rozvodny, tudíž jeho náběh je možný pouze při standardním napájení linky z rozvodny Kojetín. Směrová ochrana může tedy být nastavena podle vzoru nesměrových ochran u ostatních vedení. Nesměrová ochrana linky VN12 se pak nastavuje tak, aby byla v rámci selektivity

„nad“ ostatními ochranami. To znamená, že je nutno prodloužit vypínací čas a oproti směrovému stupni taky navýšit rozběhový proud. Nesměrová ochrana linky VN12 chrání nejen tuto linku, ale v případě zkratu také představuje zálohu ochran v ostatních vývodech.

Co se týká nastavení zkratových ochran, tak je situace následující. Pro směrovou ochranu platí stejné nastavení jako u všech ostatních vedení. U nesměrové ochrany je třeba dodržet selektivitu a z tohoto důvodu je tedy navýšen rozběhový proud asi o 30 % na hodnotu 1200 A, vypínací čas je oproti směrové ochraně prodloužen na hodnotu 0,20 s.

Nastavení směrové ochrany linky VN12

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 260 \approx 330 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} \geq \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{330}{300/5} \approx 5,5 \text{ A}$$

$$I_{rZK-prim} = 900 \text{ A}$$

$$I_{rZK-sek} = \frac{I_{kmin}''}{p_i} = \frac{900}{300/5} = 15 \text{ A}$$

Nastavení nesměrové ochrany linky VN12

$$I_{rPP-prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,2}{0,95} \cdot 285 \approx 360 \text{ A}$$

$$I_{rPP-sek} \geq \frac{I_{rPP-prim}}{p_i} = \frac{366}{300/5} \approx 6 \text{ A}$$

$$I_{rZK-prim} = 1200 \text{ A}$$

$$I_{rZK-sek} = \frac{I_{kmin}''}{p_i} = \frac{1200}{300/5} = 20 \text{ A}$$

7. 2. Nastavení nadproudových ochran transformátoru a podélné spojky přípojníc

Pro tyto účely jsou užity nesměrové ochrany. Dovolенý proud sekundárního vývodu transformátoru a podélné spojky přípojníc je v obou případech 720 A. V obou případech jsou užity také PTP se stejným převodem, a sice 600/5 A. Aby byla zajištěna selektivita, tak ochrany reagují při rozdílném proudu a v odstupňovaném čase. Pro transformátor platí, že rozběhový proud jeho ochrany je dán jeho maximálním dovoleným proudem, tedy 720 A. Při převodu PTP 600/5 to znamená, že se ochrana transformátoru nastaví na hodnotu 6 A. Ochrana podélné spojky přípojníc musí mít rozběhový proud nižší, aby v případě nadproudu na přípojnici byla vypnuta pouze poškozená přípojnice a ne zbytečně celá rozvodna. Rozběhový proud ochrany je tedy nastaven na hodnotu 660 A, čemuž odpovídá 5,5 A na sekundární straně PTP. Z hlediska vypínacího času musí být ochrana podélné spojky přípojníc zpožděna oproti ochranám na vývodech, avšak musí reagovat rychleji než

ochrana transformátoru. Vypínací časy jsou stejně jako na ochranách vývodů dané dlouholetým bezproblémovým provozem. Na ochraně podélné spojky přípojníc je zvolen vypínací čas 1,20 s a na ochraně transformátoru 1,50 s.

Zkratové ochrany jsou oproti ochranám na vývodech nastaveny s prodlouženým vypínacím časem na hodnotu 0,20 s. Rozběhové proudy jsou pro zajištění selektivity odstupňovány na hodnoty 1200 A pro podélnou spojku přípojníc a 2100 A pro transformátor. Na ochranách tedy budou při převodech PTP 600/5 A nastaveny hodnoty rozběhových proudů 10 A pro podélnou spojku přípojníc a 17,5 A pro transformátor.

7. 3. Tabulka výsledných hodnot pro nastavení nadproudových ochran

Tab. č. 27 – Konečný souhrn nastavení ochran

Chráněný objekt		PTP	Nadproudové ochrany				Zkratové ochrany			
		p_i (-)	I_{DOV} (A)	$I_{PP-prim}$ (A)	I_{PP-sek} (A)	t_{vyp} (s)	I_{kmin}'' (A)	$I_{ZK-prim}$ (A)	I_{ZK-sek} (A)	t_{vyp} (s)
VN106		300/5	320	360	6	0,80	1521	900	15	0,00
VN295		300/5	180	228	3,8	0,80	1959	900	15	0,00
VN332		150/5	245	180	6	0,80	3027	900	30	0,00
VN296		300/5	180	228	3,8	0,80	1841	900	15	0,00
VN297		300/5	285	360	6	0,80	1258	900	15	0,00
VN111		150/5	245	180	6	0,80	3035	900	30	0,00
VN12	nesměrová	300/5	285	360	6	1,40	953	1200	20	0,20
	směrová	300/5		330	5,5	0,80		900	15	0,00
VN1104		300/5	420	360	6	1,00	3098	900	15	0,00
PSP		600/5	720	660	5,5	1,20	-	1200	10	0,20
Transformátor T101		600/5	720	720	6	1,50	-	2100	17,5	0,20

7. 4. Ostatní nastavení a logika ochran v rozvodně

Nastavení zemních směrových ochran je provedeno podle osvědčených zkušeností a je rozebráno v kapitole č. 2.2.2. Zemní směrové ochrany a jejich nastavení.

Nadproudové ochrany jsou vybaveny AOZ, které se provozují pouze s jedním opětovným zapnutím, což je dáno vlastnostmi výkonových vypínačů v rozvodně. Hodnota beznapěťové pauzy je stanovena na 0,8 s, což bylo zjištěno jako optimální délka s ohledem na OZE připojené v síti.

Logika ochran je nastavena tak, aby pomáhala zkracovat časy zkratových ochran v rozvodně. Náběh zkratové směrové ochrany linky VN12 blokuje ochranu PSP. Náběh zkratové ochrany PSP blokuje ochranu transformátoru. Pro plné využití LOR je možno začít využívat směrové ochrany ve všech vývodech. Náběh zkratové ochrany na kterémkoli vývodu před PSP by blokoval ochranu PSP a transformátoru. Náběh zkratové ochrany na vývodech za PSP by blokoval ochranu PSP a nesměrový stupeň ochrany linky VN12. Směrové stupně vývodů by se nastavily podobně jako u linky VN12, tedy musely by mít nižší vypínací čas a nižší rozběhový proud než nesměrové stupně.

Závěr

Modernizace systému ochran sestávajícího se dosud ze starých elektromechanických ochran za nové digitální je jisté pro rozvodnu Kojetín prospěšnou a zcela jasně odůvodněnou investicí. Je nespornou výhodou, že nově navržené přístroje společnosti Siemens jsou velmi multifunkční. Funkce dřívější nadproudové ochrany AT31X, zkratové ochrany A32, ochrany proti zemnímu spojení Pro&Con RY0 a AOZ jsou nyní vykonávány pouze jedním přístrojem. Tím se nejen zvýšila spolehlivost systému ochran, ale také se usnadnila manipulace s ním. Díky směrové funkci ochran je oproti původnímu stavu zlepšena ochrana linky VN12 při standardním napájení. Dále přibyla možnost dálkového dohledu z dispečinku, což původní systém ochran neumožňoval. Jednalo se o velký nedostatek, který měl pozitivní dopad na přijetí návrhu o celé modernizaci.

V této práci jsem provedl nastavení nadproudových a zkratových stupňů ochran tak, aby úspěšně a spolehlivě chránily vývodová vedení rozvodny Kojetín. Nastavení vychází z výpočtu zkratových poměrů na jednotlivých vývodech, přičemž bylo nutné zohlednit malé místní zdroje připojené k vedení, vesměs se jednalo o OZE. Rozběhové proudy zkratových ochran jsou nastaveny níže, než by bylo nutné. Ve standardním provozu je tak zaručena dostatečná rezerva při chránění vývodových vedení proti účinkům zkratových proudů. Nastavení vypínacích časů je určeno zejména zkušenostmi z předchozího dlouhodobého provozu rozvodny.

Při záložním napájení rozvodny Kojetín z rozvodny Dluhonice nejsou vývodová vedení chráněna proti zkratu zkratovým stupněm, ale pouze stupněm nadproudovým. Společá se přitom na to, že zkratové poměry na vývodech při záložním napájení nejsou příliš velké a nadproudové stupně ochran zkrat vypnout dříve, než dojde k poškození vedení. Pro zlepšení systému ochran bych navrhoval využít směrovou ochranu u linky VN12 a logiku ochran rozvodny pro užití dvojího nastavení zkratových ochran. Všechny zkratové ochrany umožňují nastavení ve dvou sadách. První sada hodnot by odpovídala standardnímu napájení Kojetína ze sítě 110 kV, čili přejala by nastavení hodnot navržené v této práci, tedy rozběhový proud 900 A při vypínacím času 0 s. Druhá sada hodnot by odpovídala záložnímu napájení z rozvodny Dluhonice, kdy minimální zkratové proudy klesají na poloviční až třetinovou hodnotu. Nejnižší hodnota zkratového proudu může nastat na lince VN297, a sice 684 A. Druhá sada hodnot by tedy mohla být nastavená na rozběhový proud 600 A při vypínacím času 0 s. Přepínání sad na ochranách by bylo zajištěno pomocí logiky prostřednictvím komunikace IEC61850 na popud směrové ochrany na lince VN12. Jestliže by tok výkonu na lince VN12 byl směrem z rozvodny, byly by na všech ochranách nastaveny první sady hodnot. Jestliže by se směr toku výkonu obrátil směrem do rozvodny, což by vždy značilo záložní napájení, směrová ochrana by vyslala impuls a byly by aktivovány druhé sady zkratových ochran s nižšími rozběhovými proudy. Na podobném principu slouží blokování ochran v rámci logické ochrany rozvodny, což je ozkoušené a spolehlivě funkční. Je tedy předpoklad, že by tento jednoduchý návrh přepínání mezi dvěma sadami hodnot pracoval také spolehlivě a zlepšil tak stávající systém ochran proti zkratům.

Použitá literatura

Knižní publikace

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: Vydařa VŠB-TU Ostrava ve vydavatelství Montanex, 2008, 364 s. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [2] HALUZÍK, Evžen. *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*. 1. vyd. Brno: VUT, 1986, 160 s
- [3] DOHNÁLEK, Petr. *Ochrany pro průmysl a energetiku*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1991, 339 s. ISBN 80-03-00630-9.
- [4] JANÍČEK, František. *Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľství STU, 2004. Edice vysokoškolských učebnic. ISBN 80-227-2135-2.
- [5] TLUSTÝ, Josef. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [6] GRYM, Rudolf. *Chránění II: elektrická zařízení vysokého napětí, chránění zařízení v průmyslu*. Havířov: IRIS, 2004. Pracovní a učební pomůcky. ISBN 80-903540-0-9.
- [7] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1993, 164 s. ISBN 80-7078-195-5.

Články a internetové zdroje

- [8] Petersonovy zřásecí tlumivky - spolehlivá ochrana před ekonomickými ztrátami v sítích VN. *Energie kolem nás* [online]. 2013 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.power-energo.cz/download/VI5Vdcsg-7653-petersenovy-zhaseci-tlumivky.pdf>
- [9] BLOKŠA, Milan. Indikace zemního spojení v sítích VN. *Konference ČK Cired*. Tábor, 2005
- [10] BERNARD, Lukáš. Ochrany vedení v sítích VN. *Elektro* [online]. 2008, [cit. 2016-02-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36857.pdf>
- [11] ŽÁK, Pavel. Zábleskové ochrany – princip a význam. *Elektro* [online]. 2010 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zableskove-ochrany-princip-a-vyznam--10746>

Normy

- [12] PNE 38 4065. *Provoz, navrhování a zkoušení ochrany a automatik*. PDS ČR, 2008.
- [13] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Výpočet proudů*. Praha: Český normalizační institut, 2002.

Další materiály

Vnitřní nepublikovatelné materiály rozvodny Kojetín a technické manuály ochrany Siprotec Siemens.

Seznam obrázků

Obr. č. 1 – Činnost ochrany s chráněným objektem a obsluhou	5
Obr. č. 2 – Charakteristiky závislé, polozávislé, nezávislé a mžikové nadproudové ochrany ...	8
Obr. č. 3 – Paprsková síť chráněná nezávislými nadproudovými ochranami	9
Obr. č. 4 – Nezávislé nadproudové ochrany v paprskové síti	10
Obr. č. 5 – Vypínací charakteristika dvoustupňové nadproudové ochrany	12
Obr. č. 6 – Princip podpěťového blokování	12
Obr. č. 7 – Závislé nadproudové ochrany v paprskové síti	13
Obr. č. 8 – Použití nadproudové ochrany se směrovým článkem na paralelním vedení	14
Obr. č. 9 – Zjednodušené schéma kompenzované sítě se zemním spojením	15
Obr. č. 10 – Fázorový diagram sítě při zemním spojení, natočení úhlu φ_0	16
Obr. č. 11 – Procentuální charakteristika ochrany.....	19
Obr. č. 12 – Princip Buchholzova relé.....	21
Obr. č. 13 – Porucha na pomocném obvodu transformátoru - ochrana je nečinná.....	21
Obr. č. 14 – Průběh zkratového proudu.....	23
Obr. č. 15 – Výpočet trojvinutového transformátoru.....	27
Obr. č. 16 – Schéma linky VN106.....	42
Obr. č. 17 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkratu v US_PR_5083.....	43
Obr. č. 18 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkratu v US_PR_5025.....	45
Obr. č. 19 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkratu v PR_4773.....	46
Obr. č. 20 – Náhradní schéma zkratového obvodu pro místo zkrat v PV_9197	47
Obr. č. 21 – Záložní napájení rozvodny Kojetín	48

Seznam tabulek

Tab. č. 1 – Napěťový součinitel c.....	25
Tab. č. 2 – Provozní parametry rozvodny 110 kV.....	30
Tab. č. 3 – Přístrojové vybavení rozvodného pole 110 kV	31
Tab. č. 4 – Parametry transformátoru 110/22 kV	31
Tab. č. 5 – Provozní parametry rozvodny 22 kV.....	32
Tab. č. 6 – Účel jednotlivých polí v rozvodně 22 kV.....	32
Tab. č. 7 – Přístrojové vybavení jednotlivých polí v rozvodně 22 kV	33
Tab. č. 8 – Typy a parametry přístrojů v rozvodně 22 kV.....	33
Tab. č. 9 – Soupis nově navržených ochran	35
Tab. č. 10 – Parametry vedení linky VN106	40
Tab. č. 11 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN106.....	50
Tab. č. 12 – Parametry vedení linky VN295	51
Tab. č. 13 – Výsledné hodnoty zkratových proudů na vedení VN295.....	52
Tab. č. 14 – Parametry vedení linky VN332	53
Tab. č. 15 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN332.....	53
Tab. č. 16 – Parametry vedení linky VN296	53
Tab. č. 17 – Výsledné hodnoty zkratových proudů na vedení VN296.....	53
Tab. č. 18 – Parametry vedení linky VN297	54
Tab. č. 19 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN297.....	54
Tab. č. 20 – Parametry vedení linky VN111	55
Tab. č. 21 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN111	55
Tab. č. 22 – Parametry vedení linky VN12	56
Tab. č. 23 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN12.....	57
Tab. č. 24 – Parametry vedení linky VN1104	57
Tab. č. 25 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení VN1104.....	57
Tab. č. 26 – Hodnoty pro nastavení nadproudového stupně ochran.....	58
Tab. č. 27 – Konečný souhrn nastavení ochran	62

Seznam příloh

Příloha I – Jednopolové schéma rozvodny 110 kV

Příloha II – Jednopolové schéma rozvodny 22 kV

Příloha III – Obvodové schéma dvojité optické smyčky

Příloha IV – Parametry venkovního a kabelového vedení

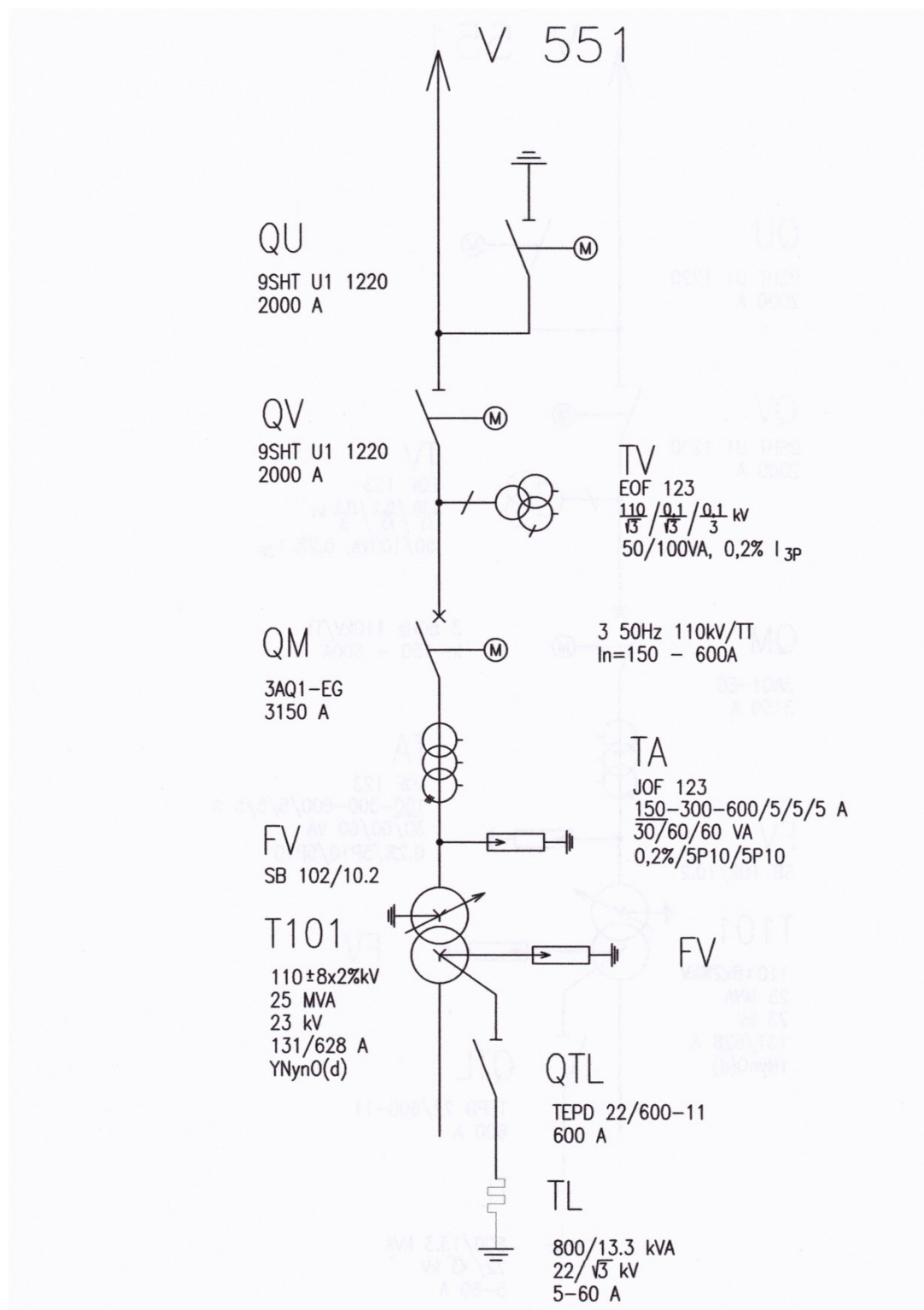
Příloha V – Seznam OZE připojených k vývodům z rozvodny Kojetín

Umístěno na přiloženém CD

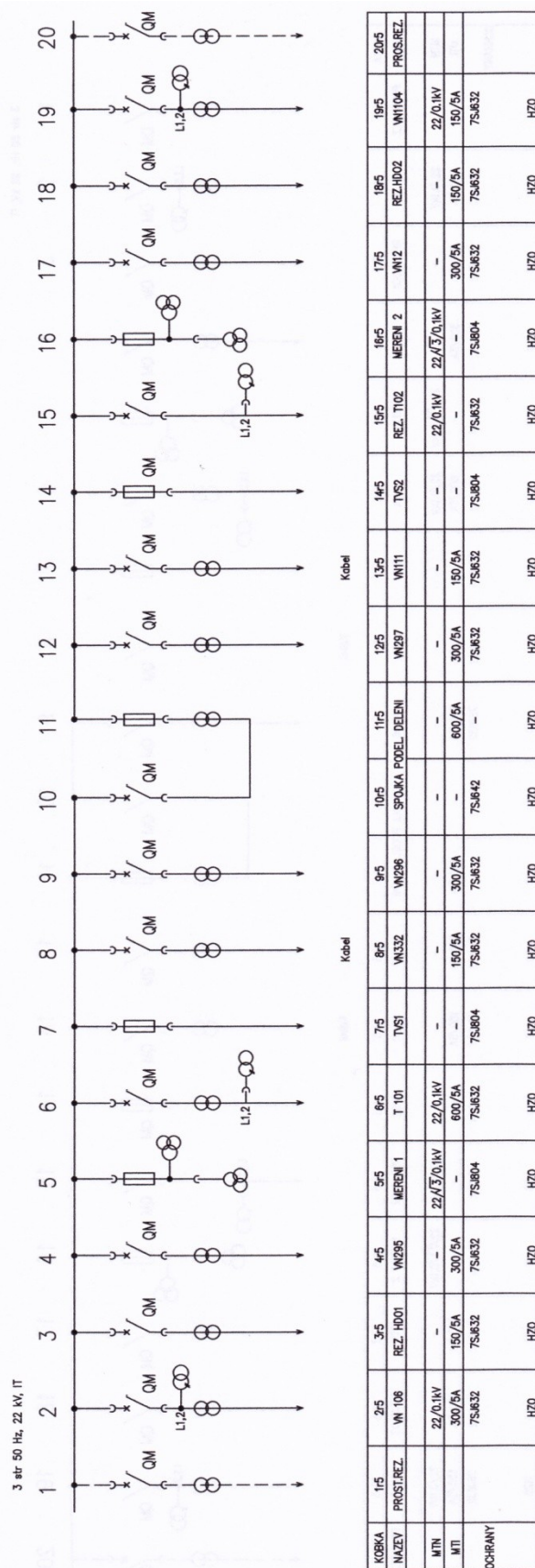
Příloha VI – Schéma rozvodné sítě 22 kV napájené rozvodnou Kojetín

PŘÍLOHY

Příloha I – Jednopolové schéma rozvodny 110 kV



Příloha II – Jednopolové schéma rozvodny 22 kV



[illegible]

Příloha IV – Parametry venkovního a kabelového vedení

Venkovní vedení	S	r_k	x_k	I_{DOV}	K
	(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A)	(-)
AlFe	42/7	0,715	0,392	163	108
AlFe	50	0,696	0,389	177	108
AlFe	66/11	0,474	0,378	236	108
AlFe	70	0,432	0,378	225	108
AlFe	70/11	0,474	0,378	236	108
AlFe	95	0,319	0,370	284	108
AlFe	110/22	0,266	0,361	318	108
AlFe	120	0,234	0,356	357	108

Kabelové vedení	S	r_k	x_k	I_{DOV}	K
	(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A)	(-)
AXEKVCEY	3 x 70	0,443	0,138	210	93
AXEKVCEY	3 x 120	0,253	0,126	285	93
AXEKVCEY	3 x 240	0,125	0,113	417	93
<i>Jedná se o kabel s hliníkovými jádry, kde izolaci tvoří síťovaný polyetylén</i>					

Kabelové vedení	S	r_k	x_k	I_{DOV}	K
	(mm ²)	(Ω/km)	(Ω/km)	(A)	(-)
ANKTOYPV	3 x 70	0,442	0,094	177	71
ANKTOYPV	3 x 95	0,326	0,130	211	71
ANKTOYPV	3 x 120	0,299	0,097	241	71
ANKTOYPV	3 x 185	0,194	0,091	306	71
ANKTOYPV	3 x 240	0,129	0,088	353	71
<i>Jedná se o kabel s hliníkovými jádry, které jsou obaleny napuštěným papírem</i>					

Příloha V – Seznam OZE připojených k vývodům z rozvodny Kojetín

Umístění			Typ elektrárny	P_n (kW)	X_G (Ω)
Vedení	Úsek	Lokalita			
VN106	PV_9197	Němčice nad Hanou	Fotovoltaická	3450	154,3
VN106	US_PR_5025	Měřovice nad Hanou	Fotovoltaická	290	1836
VN295	PR_9135	Kojetín	Bioplynová	1189	81,41
VN332	PR_9187	Kojetín	Parní	1260	76,83
VN111	PR_9102	Kojetín	Fotovoltaická	360	1479
VN297	US_PR_5090	Kojetín	Vodní	100	968
VN297	US_PR_5373	Polkovice	Fotovoltaická	375	1420
VN12	US_PR_5121	Troubky	Fotovoltaická	30	17747
VN1104	US_PR_9137	Kojetín	Fotovoltaická	4750	112,1